CURSO DE FORMAÇÃO DE OPERADORES DE REFINARIA
INSTRUMENTAÇÃO BÁSICA
BR

INSTRUMENTAÇÃO BÁSICA

CARLOS ROBERTO CHAVES

Equipe Petrobras

Petrobras / Abastecimento

UN´s: Repar, Regap, Replan, Refap, RPBC, Recap, SIX, Revap

CURITIBA
2002

Apresentação

É com grande prazer que a equipe da Petrobras recebe você.

Para continuarmos buscando excelência em resultados, diferenciação em serviços e competência tecnológica, precisamos de você e de seu perfil empreendedor.

Este projeto foi realizado pela parceria estabelecida entre o Centro Universitário Positivo (UnicenP) e a Petrobras, representada pela UN-Repar, buscando a construção dos materiais pedagógicos que auxiliarão os Cursos de Formação de Operadores de Refinaria. Estes materiais – módulos didáticos, slides de apresentação, planos de aula, gabaritos de atividades – procuram integrar os saberes técnico-práticos dos operadores com as teorias; desta forma não podem ser tomados como algo pronto e definitivo, mas sim, como um processo contínuo e permanente de aprimoramento, caracterizado pela flexibilidade exigida pelo porte e diversidade das unidades da Petrobras.

Contamos, portanto, com a sua disposição para buscar outras fontes, colocar questões aos instrutores e à turma, enfim, aprofundar seu conhecimento, capacitando-se para sua nova profissão na Petrobras.

*Nome:*____

*Cidade:*_______________________________________

*Estado:*_______________________________________

*Unidade:*______________________________________

Escreva uma frase para acompanhá-lo durante todo o módulo.

Sumário

1 TERMINOLOGIA 7
1.1 Introdução à Instrumentação 7
1.2 Por que automatizar 8
1.3 Terminologia e Simbologia 10

2 SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTAÇÃO 12
2.1 Simbologia Conforme Norma ABNT (NBR-8190) 12
2.1.1 Tipos de conexões 12
2.1.2 Código de Identificação de Instrumentos 12
2.1.3 Simbologia de identificação de instrumentos de Campo e Painel 15
2.1.4 Alguns Arranjos Típicos de Instrumentos 15
2.2 Simbologia Conforme Norma ISA (Institute of Standard American) 17
2.2.1 Finalidades 17
2.2.2 Aplicação na Indústria 17
2.3 Aplicação nas atividades de trabalho 17
2.4 Aplicação para Classes e Funções de Instrumentos 17
2.5 Conteúdo da Identificação da Função 18
2.6 Conteúdo de Identificação da Malha 18
2.7 Símbolos de Linha de Instrumentos 19
2.7.1 Símbolos opcionais binários (ON – OFF) 19
2.8 Símbolos gerais de instrumentos ou de funções 20

3 ELEMENTOS DE UMA MALHA DE CONTROLE 22
3.1 Variáveis de processo 22
3.1.1 Variável controlada 22
3.1.2 Meio controlado 22
3.1.3 Variável manipulada 22
3.1.4 Agente de controle 22
3.2 Malha de controle 23
3.2.1 Malha aberta 23
3.2.2 Malha fechada 23

4 MEDIÇÃO DE PRESSÃO 25
4.1 Introdução 25
4.2 Peso Específico 25
4.3 Gravidade Específica 25
4.4 Princípios, leis e teoremas da física utilizados na medição de pressão 25
4.4.1 Lei da Conservação de energia (Teorema de Bernoulli) 25
4.4.2 Teorema de Stevin 25
4.4.3 Princípio de Pascal 26
4.4.4 Equação Manométrica 26
4.5 Definição de Pressão 26
4.5.1 Pressão Estática 27
4.5.2 Pressão Dinâmica 27
4.5.3 Pressão total 27
4.5.4 Tipos de Pressão Medidas 27
4.5.5 Unidades de Pressão 28
4.6 Técnicas de medição de pressão 28
4.6.1 Introdução 28
4.6.2 Composição dos Medidores de Pressão 28
4.7 Principais Tipos de Medidores 28
4.7.1 Manômetros 28
4.7.2 Manômetro de Líquido 29
4.8 Tipos de Manômetro Líquido 30
4.8.1 Manômetro tipo Coluna em "U" 30
4.8.2 Manômetro tipo Coluna Reta Vertical 30
4.8.3 Manômetro tipo Coluna Inclinada 31
4.8.4 Aplicação 31
4.8.5 Manômetro Tubo Bourdon 31
4.9 Manômetro Tipo Elástico 32

5 INSTRUMENTO DE TRANSMISSÃO DE SINAL 36
5.1 Tipos de transmissores de pressão 36
5.1.1 Transmissores pneumáticos 36
5.1.2 Transmissores eletrônicos analógicos 37
5.2 Instrumentos para alarme e inter-travamento 38
5.2.1 Pressostato 38
5.3 Instrumentos conversores de sinais 40
5.3.1 Conversores eletro-pneumáticos e pneumáticos-elétricos 40

6 MEDIÇÃO DE VAZÃO 42
6.1 Introdução 42
6.1.1 Tipos de medidores de vazão 42
6.2 Placa de orifício 43
6.3 Tubo Venturi 44
6.3.1 Bocal de Vazão 44
6.3.2 Tubo Pitot 44
6.3.3 Medidor Tipo Annubar 45
6.3.4 Rotâmetros 45
6.3.5 Princípio Básico 45
6.4 Medidores de vazão em canais abertos 45
6.4.1 Vertedor 45
6.4.2 Calha de Parshall 46
6.5 Medidores especiais de vazão 46
6.5.1 Medidor Eletromagnético de Vazão 46
6.5.2 Medidor Tipo Turbina 46
6.5.3 Medidor por Efeito Coriolis 46
6.5.4 Medidor Vortex 47
6.5.5 Medidores Ultra-sônicos 47
6.5.6 Medidores de efeito Doppler 47

7 MEDIÇÃO DE NÍVEL 49
7.1 Introdução 49
7.2 Métodos de medição de nível de líquido 49
7.2.1 Medição direta 49
7.2.2 Medição indireta de nível 49
7.2.3 Medição de Nível Descontínua 53
7.2.4 Medição e Nível de Sólidos 54

8 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA 55
8.1 Introdução 55
8.2 Temperatura e calor 55
8.2.1 Medição de temperatura com Termopar 56
8.3 Efeitos termoelétricos 57
8.3.1 Efeito termoelético de Seebeck 57
8.3.2 Efeito termoelétrico de Peltier 57
8.3.3 Efeito termoelétrico de Thomson 57
8.3.4 Efeito termoelétrico de Volta 58
8.4 Medição de temperatura por termo-resistência 58
8.4.1 Princípio de Funcionamento 59
8.4.2 Características da termo-resistência de platina 59
8.4.3 Radiômetro ou Pirômetro de radiação 60

9 ANALISADORES INDUSTRIAIS 61
9.1 Introdução 61
9.2 Instrumentos de análise ou analisador 61
9.3 Sistema de amostragem 61
9.3.1 Captação 61
9.4 Funções de um sistema de amostragem 62
9.4.1 Captação de Amostra 63
9.5 Transporte de amostra 63
9.5.1 Temperatura 63
9.5.2 Filtro de adsorção 65

10 INSTRUMENTAÇÃO ANALÍTICA 66
10.1 Analisadores de Gases Industriais 66
10.2 Analisadores de Gases 66
10.2.1 Analisadores de Gases por Condutibilidade Térmica 66
10.3 Analisadores por absorção de raios infravermelhos 67
10.3.1 Teoria de funcionamento 67
10.3.2 Princípio de medição 68
10.3.3 Fonte de infravermelho 69
10.3.4 Célula 69
10.3.5 Tipos de analisadores 69
10.3.6 Analisadores paramagnéticos 71
10.4 Analisador de Oxi-Zircônia 74
10.4.1 Introdução 74
10.5 Analisador de Líquidos 75
10.5.1 Medidor pH 75
10.5.2 Medição de pH através do eletrodo de vidro 75
10.5.3 Solução padrão de pH 76
10.5.4 Observações a serem feitas durante a medição 77
10.6 Medidor de densidade específica 77
10.6.1 Medidor de densidade específica pelo método flutuação 77
10.6.2 Medidor de densidade específica pelo método de pressão 78
10.6.3 Medidor do grau de densidade pelo método de comparação da cor 78
10.6.4 Estrutura do equipamento 78

11 VÁLVULAS DE CONTROLE 80
11.1 Introdução 80
11.2 Tipos de Corpos 80
11.3 Válvulas de deslocamento Linear de Haste 81
11.3.1 Válvula de Controle Tipo Globo Convencional (Série SIGMAF) 81
11.4 Válvulas de Controle – Definições Geral 81
11.4.1 Válvulas de Controle 81
11.4.2 Componentes da válvula de controle 82
11.4.3 Tipos de válvulas de controle 82
11.5 Válvula Globo 83
11.5.1 Corpo da válvula 83
11.5.2 Internos (ou conjunto dos internos) 83

12 CONTROLE AUTOMÁTICO DE PROCESSO 85
12.1 Sistemas de Controle 85
12.2 Partes de um Sistema de Controle 85
12.3 Estabilidade do Sistema de Controle 86
12.4 Funcionamento de um Sistema de Controle Fechado 86
12.5 Modos de Controle do Controlador 86
12.5.1 Controle biestável 87
12.5.2 Controle proporcional 87
12.5.3 Controle integral 87
12.5.4 Controle proporcional-integral 87
12.5.5 Controle derivativo 88
12.5.6 Controle proporcional-derivativo 88
12.5.7 Controle proporcional-integral-derivativo 88
12.6 Conclusões 88

Terminologia 1

1.1 Introdução à Instrumentação

Curso Básico de Instrumentação e Controle

O presente material descreve, de forma sucinta, a definição clássica da instrumentação envolvida no processo de transformação da matéria-prima em produto ou sub-produto e, em linhas gerais, aborda os conceitos que serão base para uma compreensão lata sobre a atividade. A intenção não é portanto, a de suprimir lacunas nas cátedras de Física, Química Geral ou Fenômeno dos Transportes, cujo universo de teorias e conceitos envolvidos transpõem os objetivos do curso.

Todo processo de transformação do estado de determinadas substâncias (líquidas, gasosas, sólidas) participes de uma cadeia de processamento, para a composição de um produto final, envolve, em síntese, certas operações, que, em certos casos, necessitam serem controladas a fim de manter as grandezas envolvidas (pressão, vazão, temperatura, etc), dentro de valores preestabelecido.

A definição clássica de processo denota toda a operação de transformação de matéria-prima (no seu estado natural) em uma forma útil. Todo processo químico é formado por "um conjunto de operações unitárias interligadas entre si de acordo com uma seqüência lógica". Estabelecida no projeto básico de engenharia

Um processo apresenta variáveis a serem controladas, que interferem direta ou indiretamente no resultado da qualidade do produto ou subproduto. Os métodos de coleta de informações sobre as condições do processo diferem em muito dependendo do tipo de grandeza que se quer inferir. Algumas informações (variáveis) podem ser coletadas através de métodos direto ou indireto. Para este último, em muitos casos, utilizamos a inferência.

A instrumentação pode, então, ser definida como a ciência que aplica e desenvolve técnicas para medidas e controles em equipamentos e processos industriais.

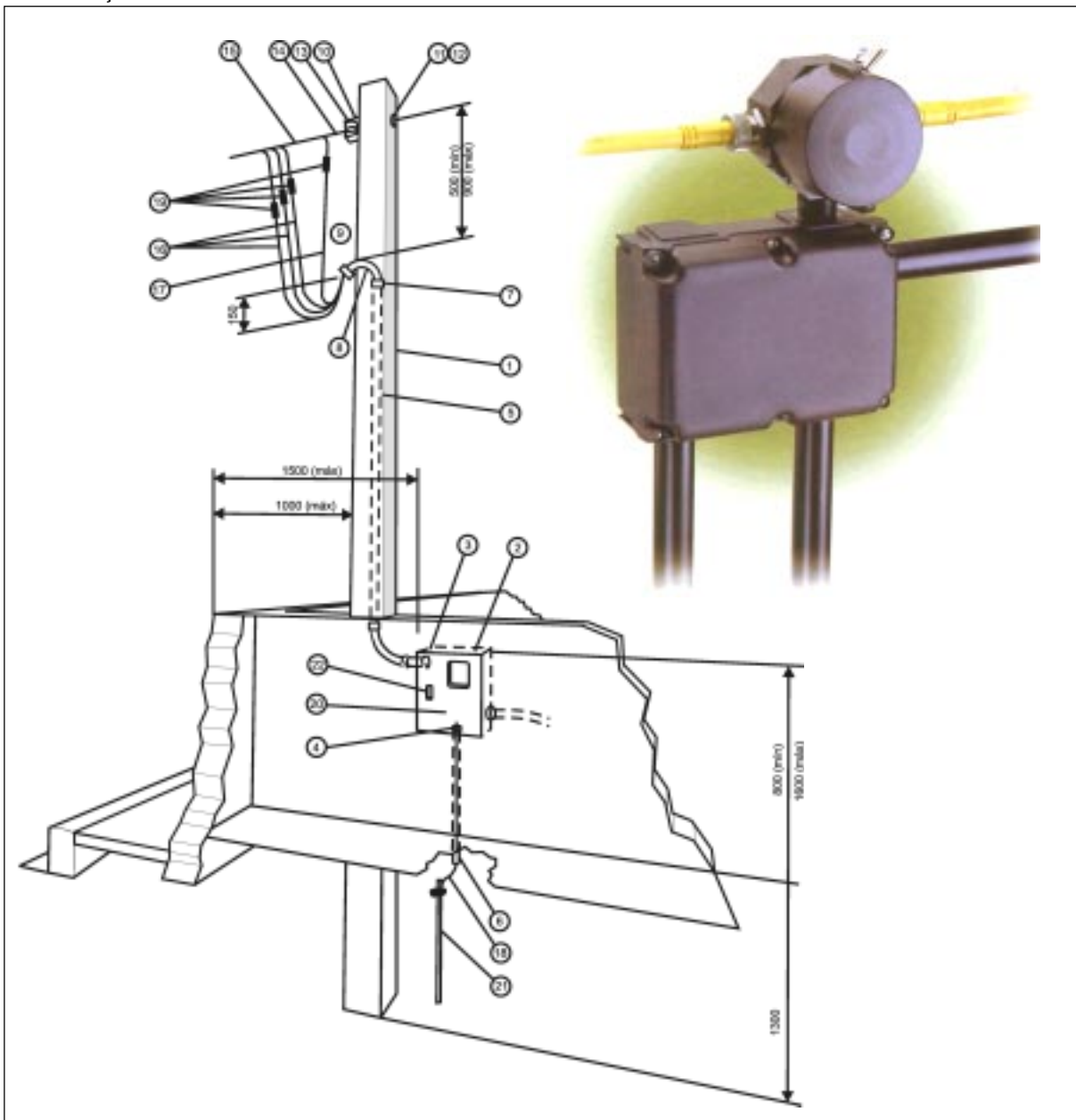
Tomando-se como exemplo o sistema de medição de energia elétrica encontrado em residências, um instrumento que mede e registra a energia elétrica consumida durante um dado período de tempo. Realizam-se aqui, três atividades distintas:

1. medição da energia elétrica consumida em cada instante;

2. soma das energias consumidas durante um certo período de tempo;

3. registro no totalizador do aparelho.

Trata-se aqui simplesmente de um processo de medida, integração e registro de uma entidade física, energia elétrica consumida na residência.

Dado um eletrodoméstico, ligado à rede pública através de um "regulador de tensão". Este instrumento pretende, na medida do possível, fornecer ao eletrodoméstico ligado a ele, uma tensão constante, para a qual ele é regulado, conforme observado na ilustração a seguir.

O regulador de tensão recebe uma tensão da rede, compara com a tensão para a qual foi ajustado e atua sobre a tensão, conforme necessário, para fornecer ao eletrodoméstico a tensão predeterminada. Tem-se, aqui, uma atividade de controle.

De uma maneira ampla, os dispositivos que realizam as tarefas de medição, registro e controle são chamados de instrumentos, e a ciência que os estuda é chamada de instrumentação.

Em linhas gerais e conclusivas, a "instrumentação" é a ciência que aplica e desenvolve técnicas para adequação de instrumentos de medição, transmissão, indicação, registro e controle de variáveis físicas em equipamentos nos processos industriais.

Em indústrias, tais como siderúrgica, petroquímica, alimentícia, papel, entre outras, a instrumentação é responsável pelo rendimento máximo de um processo, pois, faz com que toda energia cedida seja transformada em trabalho na elaboração do produto desejado. No processo, as principais grandezas que traduzem transferências de energia, denominadas variáveis de um processo, são: **pressão**, **nível**, **vazão**, **temperatura**.

A seguir serão abordadas as várias técnicas de medição e tratamento destas grandezas.

1.2 Por que automatizar

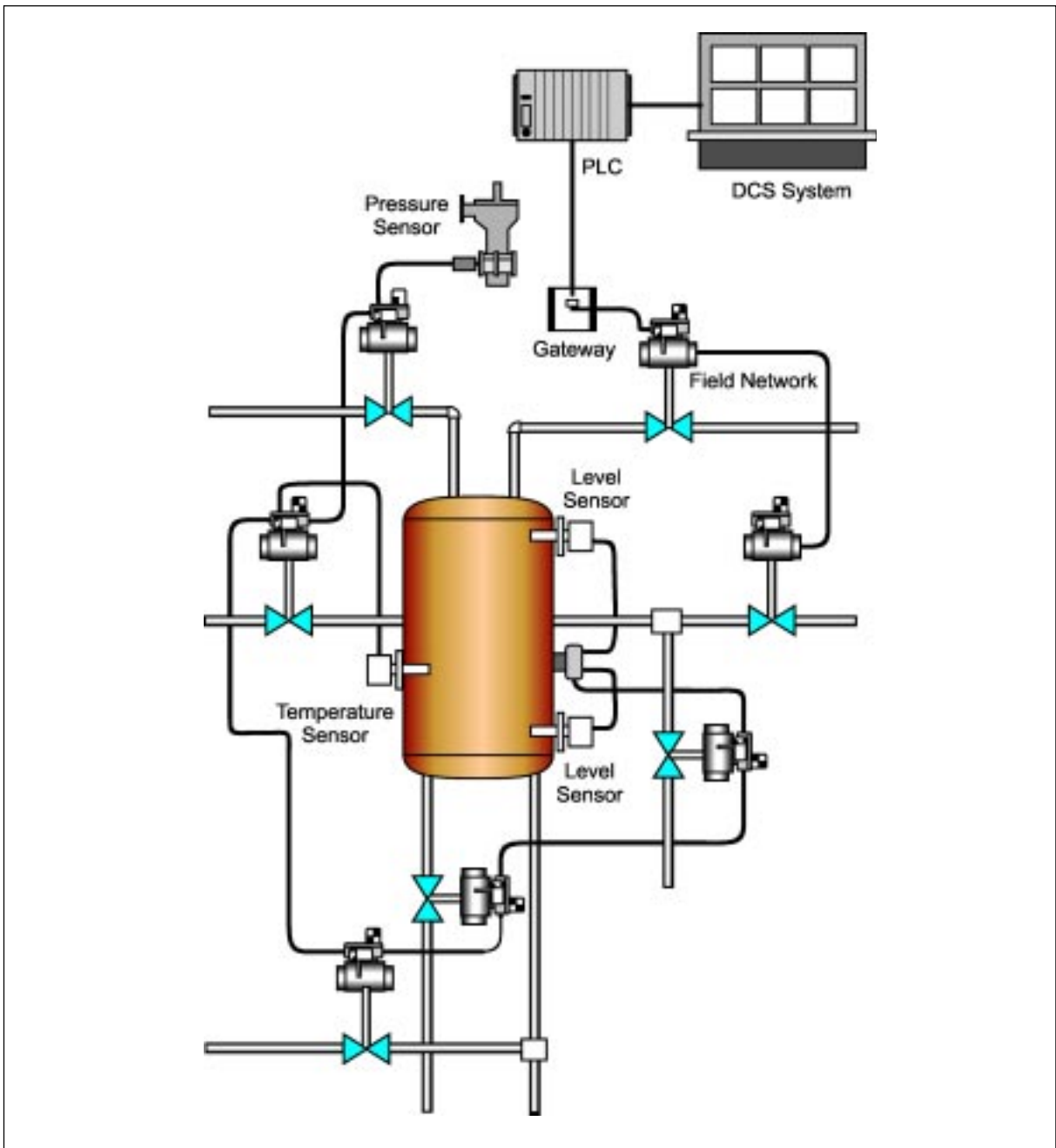
A utilização de instrumentos para controle automático de processo nos permite, incrementar e controlar a qualidade do produto, aumentar a produção e rendimento, obter e fornecer dados seguros da matéria-prima e da quantidade produzida, além de ter em mãos dados relativos à economia dos processos.

Com o surgimento da máquina a vapor no fim do século passado, o homem viu-se obrigado a desenvolver técnicas de medição. Desta forma, surgem instrumentos para indicar a variável em questão, a pressão. A grande demanda de indicadores de pressão surgiu na área de fornos e caldeiras, resultando em uma grande redução do número de acidentes e ocorrências de explosões nestes equipamentos.

No final dos anos trinta, começaram a surgir os primeiros instrumentos de controle automático.

Com o surgimento da eletrônica dos semicondutores no início dos anos 50, surgiram os instrumentos eletrônicos analógicos, e gradativamente, a partir desta data, os instrumentos pneumáticos foram substituídos pelos eletrônicos, em processos onde não existia risco de explosão.

Na atualidade, os industriais estão cada vez mais optando por automatizar as suas unidades/plantas, adquirindo sistemas eletrônicos microprocessador, tais como transmissores inteligentes controladores, Multi.Loop, controladores lógicos programáveis (CLP), Sistemas Digitais de Controle Distribuído, Sistemas Fieldbus.

Já são encontrados, no mercado nacional, instrumentos com tecnologia consagrada (segurança intrínseca) capaz de fornecer uma alta performance operacional aliada à otimização de processos industriais. A seguir pode-se perceber este grau de integração.

1.3 Terminologia e Simbologia

As definições a seguir são conhecidas por todos que intervêm, diretamente ou indiretamente, no campo da instrumentação industrial, e têm como objetivo a promoção de uma mesma linguagem técnica.

RANGE (Faixa de medida): Conjunto de valores da variável analisada, compreendido dentro do limite inferior e superior da capacidade de medida ou de transmissão do instrumento. É expresso determinando-se os valores extremos.

Exemplo:

100 ~ 500°C; 0 ~ 20 psi; –30 ~ 30 mmca.

SPAN (Alcance): É a diferença algébrica entre o valor superior e inferior da faixa de medida do instrumento. Exemplo:

Um instrumento com range de 100 a 250°C, possui Span = 150°C

ERRO: Diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento, em relação real da variável medida. Se o processo ocorrer em regime permanente (que não varia ao longo do tempo), será chamado de **Erro Estático**, e poderá ser positivo ou negativo, dependendo da indicação do instrumento. Quando a variável altera-se, tem-se um atraso na transferência de energia do meio para o medidor, ou seja, o valor medido estará geralmente atrasado em relação ao valor real da variável. Esta diferença é chamada de **Erro Dinâmico**.

PRECISÃO: Definida como o maior valor de erro estático que um instrumento possa ter ao longo de sua faixa de trabalho. É possível expressá-la de diversas maneiras:

a) Em porcentagem do alcance (span). Ex.: Um instrumento com range de 50 a 150°C está indicando 80°C e sua precisão é de ± 0,5% do span.

80°C ± (0,5 / 100) x 100°C = 80°C ± 0,5°C

Portanto, a temperatura estará entre 79,5 e 80,5°C.

b) Em unidade da variável. Exemplo:

Precisão de ± 2°C

c) Em porcentagem do valor medido (para maioria dos indicadores de campo). Ex.: Um instrumento com range de 50 a 150°C está indicando 80°C e sua precisão é de ± 0,5% do valor medido.

80°C ± (0,5 / 100 x 80°C) = 80°C ± 0,4°C

Portanto, a temperatura estará entre 79,6 e 80,4°C.

Pode-se ter a precisão variando ao longo da escala de um instrumento, indicada pelo fabricante, então, em algumas faixas da escala do instrumento.

Exemplo:

Um manômetro pode ter uma precisão de ±1% em todo seu range e ter na faixa central uma precisão de ± 0,5% do span.

d) Em % do fundo de escala ou Span máximo:

80ºC ± (0,5 / 100) x 150ºC = 80ºC ± 0,75ºC

Observação: Quando o sistema de medição é composto de diversos equipamentos, admite-se que a precisão total da malha seja igual à raiz quadrada da soma dos quadrados das precisões de cada equipamento.

Exemplo: Uma malha de instrumentação é constituída pelos seguintes instrumentos:

– Termopar, com precisão de ± 0,5% do valor medido. Valor medido = 400°C (± 2°C).
– Fio de Extensão, com precisão de ±1°C.
– Registrador, com escala de 0 a 800°C e precisão de ± 0,25%, portanto ± 2°C.

Precisão total da malha =

$$\sqrt{2^2 + 1^2 + 2^2} = \sqrt{9} = \pm 3^\circ C$$

Zona Morta – É o maior valor de variação que o parâmetro medido possa alcançar, sem que provoque alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento (pode ser aplicado para faixa de valores absolutos do “range” do mesmo). Está relacionada a folgas entre os elementos móveis do instrumento, como engrenagens.

Exemplo: Um instrumento com “range” de 0 a 200°C possui uma zona morta de ± 0,1% do span.

± 0,1% = (0,1 / 100 x 200) = ± 0,2°C

Portanto, se a variável alterar em 0,2°C, o instrumento não apresentará resposta nenhuma.

Sensibilidade: É a razão entre a variação do valor indicado ou transmitido por um instrumento e a da variável que o acionou, após ter alcançado o estado de repouso. Denota a capacidade de resolução do dispositivo.

Exemplo: Um termômetro de vidro com "range" de 0 a 500°C, possui uma escala de leitura de 50 cm.

Sensibilidade = (50 / 500 cm)/°C = 0,1cm/°C

Histerese: É a diferença máxima apresentada por um instrumento, para um mesmo valor, em qualquer ponto da faixa de trabalho, quando a variável percorre toda a escala nos sentidos ascendente e descendente ou é o desvio porcentual máximo com o qual, para uma mesma variável (por exemplo vazão), uma indicação do valor instantâneo afasta-se do outro, dependendo de ter sido alcançado a partir de valores maiores ou menores.

Exemplo: Num instrumento com "range" de 0 a 200°C mostrado na Figura seguinte, a histerese é de 0,2%.

Repetibilidade: É o desvio porcentual máximo com o qual uma mesma medição é indicada, tomando-se todas as condições como exatamente reproduzidas de uma medida para outra. Expressa-se em porcentagem do span. Um instrumento com "range" de 0 a 1000 L/min, ± 0,1% do span (o que corresponde a ± 1 L/min), se a vazão real na primeira passagem ascendente for 750 L/min e o instrumento indicar 742 L/min, numa segunda passagem ascendente com vazão real de 750 L/min o instrumento indicará 742 ± 1 L/min. Observar que o termo Repetibilidade não inclui a Histerese.

Conformidade: É o desvio percentual máximo com o qual uma determinada variável se afasta da sua curva característica.

Reprodutibilidade: É a máxima diferença encontrada ao se aplicar um valor conhecido diversas vezes, em um dispositivo eletrônico pneumático ou mecânico.

Anotações

Simbologia de Instrumentação 2

Com o objetivo de simplificar e globalizar o entendimento dos documentos utilizados para representar as configurações das malhas de instrumentação, normas foram criadas em diversos países.

No Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através de sua norma NBR 8190, apresenta e sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e suas funções ocupadas nas malhas de instrumentação. No entanto, como é dada a liberdade para cada empresa estabelecer/escolher a norma a ser seguida na elaboração dos seus diversos documentos de projeto de instrumentação, outras são utilizadas. Assim, devido a sua maior abrangência e atualização, uma das normas mais utilizadas em projetos industrias no Brasil é a estabelecida pela ISA (Instrument Society of America).

A seguir serão apresentadas, de forma resumida, as normas ABNT e ISA que serão utilizadas ao longo dos trabalhos de instrumentação.

2.1 Simbologia Conforme Norma ABNT (NBR-8190)

2.1.1 Tipos de conexões

1. Conexão do processo, ligação mecânica ou suprimento ao instrumento.

2. Sinal pneumático ou sinal indefinido para diagramas de processo.

3. Sinal elétrico.

4. Tubo capilar (sistema cheio).

5. Sinal hidráulico.

6. Sinal eletromagnético ou sônico (sem fios).

2.1.2 Código de Identificação de Instrumentos

Cada instrumento deve ser identificado com um sistema de letras que o classifique funcionalmente (Ver Tabela 1 a seguir).

Como exemplo, uma identificação representativa é a seguinte:

Identificação Funcional

Identificação da Cadeia

Observação:

Os números entre parênteses referem-se às notas relativas dadas a seguir.

Notas Relativas

1. As letras "*indefinidas*" são próprias para indicação de variáveis não listadas que podem ser repetidas em um projeto particular. Se usada, a letra deverá ter um significado como "*primeira-letra*" e outro significado como "*letra-subseqüente*". O significado precisará ser definido somente uma vez, em uma legenda, para aquele respectivo projeto.
2. A letra "*não-classificada*", X, é própria para indicar variáveis que serão usadas uma vez, ou de uso limitado.
3. Qualquer primeira-letra, se usada em combinação com as letras modificadoras D (diferencial), F (razão) ou Q (totalização ou integração), ou qualquer combinação será tratada como uma entidade "*primeira letra*".

Tabela 1 – Significado das letras de identificação

	PRIMEIRA LETRA		LETRAS SUBSEQUENTES		
	Variável Medida ou inicial (3)	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
A	Analisador (4)	–	Alarme	–	
B	Chama de queimador		Indefinida	Indefinida (1)	Indefinida (1)
C	Condutividade elétrica	–	–	Controlador (12)	–
D	Densidade ou massa específica	Diferencial (3)	–	–	–
E	Tensão elétrica	–	Elemento primário	–	–
F	Vazão	Razão (fração) (3)	–	–	–
G	Medida dimensional	–	Visor (8)	–	Alto (6, 14, 15)
H	Comando Manual	– –	–	–	–
I	Corrente elétrica	–	Indicador (9)		–
J	Potência	Varredura ou Seletor (6)	–	–	–
L	Nível		Lâmpada Piloto (10)	–	Baixo (6, 14, 15)
M	Umidade				Médio ou intermediário (6, 14)
N(1)	Indefinida		Indefinida (1)	Indefinida (1)	Indefinida (1)
O	Indefinida (1)		Orifício de restrição	–	–
P	Pressão ou vácuo		Ponto de teste	–	–
Q	Quantidade ou evento	Integrador ou totalizador (3)	–	–	–
R	Radioatividade	–	Registrador ou impressor	–	–
S	Velocidade ou freqüência	Segurança (7)		Chave (12)	–
T	Temperatura	–	–	Transmissor	–
U	Multivariável (5)	–	* Multifunção (11)	* Multifunção (11)	* Multifunção (11)
V	Viscosidade	–	–	Válvula (12)	–
W	Peso ou força	–	Poço	–	–
X (2)	Não classificada	–	Não classificada	Não classificada	Não classificada
Y	Indefinida (1)	–	–	Relé ou computação (11, 13)	–
Z	Posição	–	–	Elemento final de controle não classificado	–

4. A "*primeira-letra*" A, para análise, cobre todas as análises não listadas no diagrama e não cobertas pelas letras "*indefinidas*". Cada tipo de análise deverá ser definido fora do seu círculo de indefinição no fluxograma. Símbolos tradicionalmente conhecidos, como pH, O_2, e CO, têm sido usados opcionalmente em lugar da "*primeira-letra*" A. Esta prática pode causar confusão particularmente quando as designações são datilografadas por máquinas que usam somente letras maiúsculas.

5. O uso da "*primeira-letra*" U para multivariáveis em lugar de uma combinação de "*primeira-letra*" é opcional.

6. O uso dos termos modificadores alto, baixo, médio ou intermediário e varredura ou seleção é preferido, porém opcional.

7. O termo "*segurança*" será aplicado somente para elementos primários de proteção de emergência e elementos finais de controle de proteção de emergência. Então, uma válvula auto-operada que previne a operação de um sistema acima da pressão desejada, aliviando a pressão do sistema, será uma PCV (válvula controladora de pressão), mesmo que a válvula não opere continuamente. Entretanto esta válvula será uma PSV (válvula de segurança de pressão) se seu uso for para proteger o sistema contra condições de emergência, isto é, condições que colocam em risco o pessoal e o equipamento, ou ambos e que não se esperam acontecer normalmente. A designação PSV aplica-se para todas as válvulas que são utilizadas para proteger contra condições de emergência em termos de pressão, não importando se a construção e o modo de operação da válvula enquadram-se como válvula de segurança, válvula de alívio ou válvula de segurança e alívio.

8. A função passiva "*visor*" aplica-se a instrumentos que dão uma visão direta e não calibrada do processo.

9. O termo "*indicador*" é aplicável somente quando houver medição de uma variável e disponibilização da grandeza para o operador.

10. Uma "*lâmpada-piloto*", que é a parte de uma malha de instrumentos, deve ser designada por uma "*primeira-letra*" seguida pela "*letra subseqüente*". Entretanto, se é desejado identificar uma "*lâmpada-piloto*" que não é parte de uma malha de instrumentos, a "*lâmpada-piloto*" pode ser designada da mesma maneira ou alternadamente por uma simples letra L. Por exemplo: a lâmpada que indica a operação de um motor elétrico pode ser designada com EL, assumindo que a tensão é a variável medida ou XL assumindo que a lâmpada é atuada por contatos elétricos auxiliares do sistema de partida do motor, ou ainda simplesmente L. A ação de uma "*lâmpada-piloto*" pode ser acompanhada por um sinal audível.

11. O uso da "*letra-subseqüente*" U para "*multifunção*" em lugar de uma combinação de outras letras funcionais é opcional.

12. Um dispositivo que conecta, desconecta ou transfere um ou mais círculos pode ser, dependendo das aplicações, uma "*chave*", um "*relé*", um "*controlador de duas posições*" ou uma "*válvula de controle*". Se o dispositivo manipula uma corrente fluida de processo e não é uma válvula de bloqueio comum acionada manualmente, deve ser designada como uma "*válvula de controle*". Para todas as outras aplicações, o equipamento é designado como:

a) uma "*chave*", quando é atuado manualmente;

b) uma "*chave*" ou um "*controlador de duas posições*", se é automático e se é acionado pela variável medida. O termo "*chave*" é geralmente atribuído ao dispositivo que é usado para ativar um circuito de alarme, "*lâmpada piloto*", seleção, intertravamento ou segurança. O termo "*controlador*" é, geralmente, atribuído ao equipamento que é usado para operação de controle normal;

c) um "*relé*", quando automático, é acionado pela variável medida, isto é, por uma "*chave*" ou por um "*controlador de duas posições*".

13. Sempre que necessário, as funções associadas como o uso da "*letra-subseqüente*" Y devem ser definidas fora do círculo de identificação. Não é necessário este procedimento quando a função

é por si só evidente, tal como no caso de uma válvula solenóide.

14. O uso dos termos modificadores "*alto*", "*baixo*", "*médio*" ou "*intermediário*" deve corresponder a valores das variáveis medidas e não dos sinais, a menos que de outra maneira seja especificado. Por exemplo: um alarme de nível alto derivado de um transmissor de nível de ação reversa é um LAH (alarme de nível alto), embora o alarme seja atuado quando o sinal alcança um determinado valor baixo. Os termos podem ser usados em combinações apropriadas.

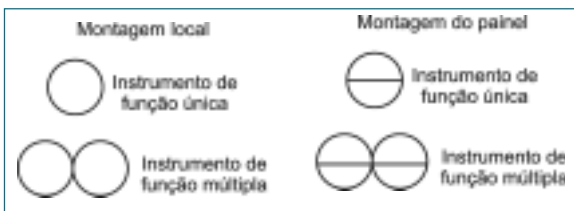
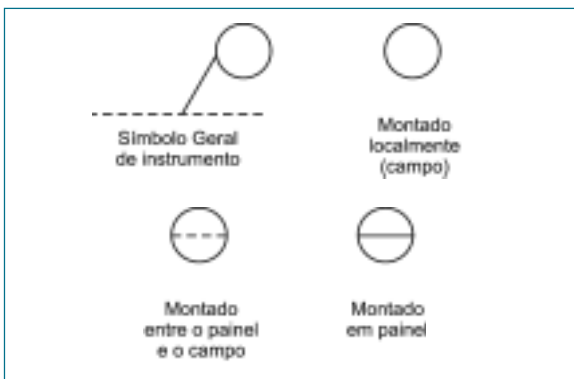
15. Os termos "*alto*" e "*baixo*", quando aplicados para designar a posição de válvulas, são definidos como:

alto

– denota que a válvula está em ou aproxima-se da posição totalmente aberta;

baixo

– denota que a válvula está em ou aproxima-se da posição totalmente fechada.

2.1.3 Simbologia de identificação de instrumentos de Campo e Painel

Instrumentação de Vazão

Válvula de Controle

 Válvula com atuador pneumático de diafragma

 Válvula com atuador elétrico (senoidal ou motor)

 Válvula com atuador hidráulico ou pneumático tipo pistão

 Válvula manual

 Válvula auto-operada de diagragma

2.1.4 Alguns Arranjos Típicos de Instrumentos

Vazão

 Medidor de linha (Rotâmetro)

 Transmissor de vazão

 Indicador de vazão (montagem local)

 Registrador de linha

 Registrador montado no painel e transmissor local com transmissão pneumática.

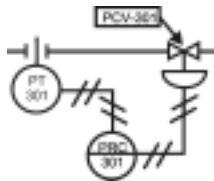
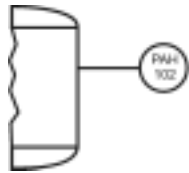
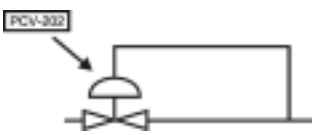
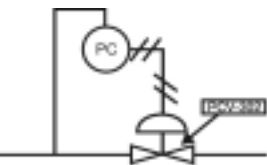
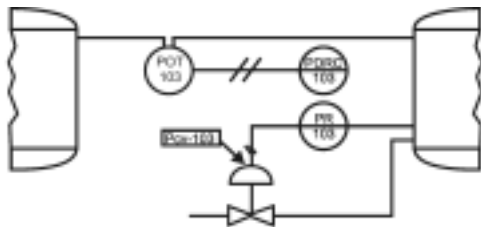
 Registrador conectado a registrador de pressão (montagem local)

 Registrador de vazão com registrador de pressão. Registradores no painel e transmissores locais com transmissão pneumática.

 Controlador e registrador de vazão comandando válvula de controle, com transmissão pneumática. Registrador no painel e transmissor local.

Pressão

 Indicador de pressão (manômetro) (montagem local)

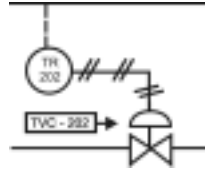
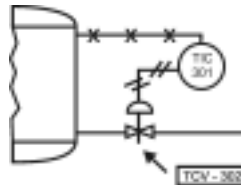
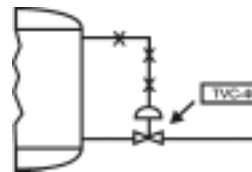
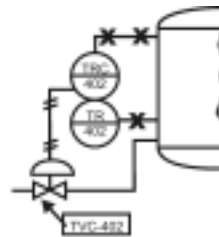
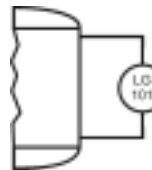
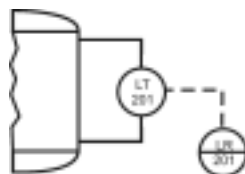
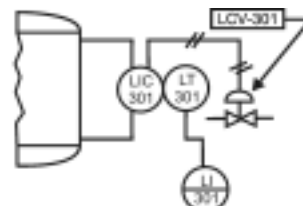
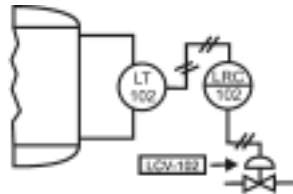
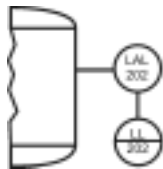
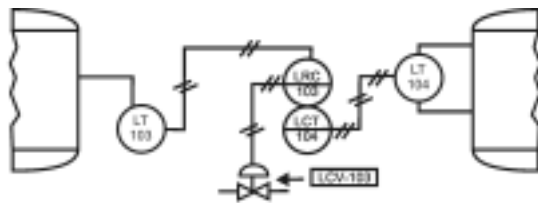
Registrador de pressão no painel

Registrador-controlador de pressão, comandando válvula de controle, com transmissão pneumática. Registrador no painel e transmissor local.

Alarme de pressão alta montagem local.

Válvula reguladora de pressão auto-atuada.

Controlador de pressão, tipo cego, comandando válvula de controle, com transmissão pneumática.

Instrumento combinado de registro e controle de nível, comandando válvula de controle, com transmissão pneumática. Instrumento no painel transmissores de locais

Temperatura

Poço para termômetro ou termopar.

Indicador de temperatura.

Indicador de temperatura no painel com transmissão elétrica.

Indicador e registrador de temperatura no painel, com transmissão elétrica.

Registrador controlador de temperatura, no painel (com transmissão elétrica) comandando válvula de controle, com transmissão pneumática.

Controlador-indicador de temperatura, tipo expansão comandando válvula de controle, com transmissão pneumática.

Válvula de controle auto-atuada.

Instrumento combinado de registro e controle de temperatura no painel, comandando válvula de controle com transmissão pneumática.

Visor de Nível

Registrador de nível no painel, com recepção elétrica e instrumento transmissor externo.

Instrumento combinado: controlador, indicador de nível e transmissor, comandando válvula de controle, com indicador no painel e com transmissão pneumática.

Controlador e registrador de nível comandando válvula de controle com transmissão pneumática. Controlador no painel transmissor local.

Alarme de nível baixo, montagem local, com sinalização no painel (transmissão elétrica).

Instrumento combinado de registro e controle de nível, comandando válvula de controle, com transmissão pneumática. Instrumento no painel transmissores de locais.

2.2 Simbologia Conforme Norma ISA (Institute of Standard American)

2.2.1 Finalidades

Informações Gerais

As necessidades de procedimentos de vários usuários são diferentes. A norma reconhece essas necessidades quando estão de acordo com os objetivos e fornece métodos alternativos de simbolismo. Vários exemplos são indicados para adicionar informações ou simplificar o simbolismo.

Os símbolos dos equipamentos de processo não fazem parte desta norma, porém são incluídos apenas para ilustrar as aplicações dos símbolos da instrumentação.

2.2.2 Aplicação na Indústria

A norma é adequada para uso em indústrias químicas, de petróleo, de geração de energia, refrigeração, mineração, refinação de metal, papel e celulose, entre outras. Algumas áreas, tais como astronomia, navegação e medicina usam instrumentos tão especializados que são diferentes dos convencionais. Não houve esforços para que a norma atendesse às necessidades destas áreas. Entretanto, espera-se que a mesma seja flexível suficientemente para resolver grande parte desse problema.

2.3 Aplicação nas atividades de trabalho

A norma é adequada quando refere-se a um instrumento ou a uma função de um sistema de controle, com o objetivo de simbolização de identificação.

Tais referências podem ser aplicadas, por exemplo, para os seguintes fins:

- projetos;
- exemplos didáticos;
- material técnico – papéis, literatura e discussões;
- diagramas de sistema de instrumentação, diagramas de malha, diagramas lógicos;
- descrições funcionais;
- diagrama de fluxo: processo, mecânico, engenharia, sistemas, tubulações e desenhos/projetos de construção de instrumentação;
- especificações, ordens de compra, manifestações e outras listas;
- identificação de instrumentos (nomes) e funções de controle;
- instalação, instruções de operação e manutenção, desenhos e registros.

A norma destina-se a fornecer informações suficientes a fim de permitir que qualquer pessoa, que possua um certo conhecimento do assunto ao revisar qualquer documento sobre medição e controle de processo, possa entender as maneiras de medir e controlar o processo. Não constitui pré-requisito para este entendimento um conhecimento profundo/detalhado de um especialista em instrumentação.

2.4 Aplicação para Classes e Funções de Instrumentos

As simbologias e o método de identificação desta norma são aplicáveis para toda classe de processo de medição e instrumentação de controle. Podem ser utilizados, não somente para identificar instrumentos discretos e suas funções específicas, mas também para identificar funções analógicas de sistemas que são denominados de várias formas como “Shared Display”, “Shared Control”, “Distribuid Control” e “Computer Control”.

2.5 Conteúdo da Identificação da Função

A norma é composta de uma chave de funções de instrumentos para sua identificação e simbolização. Detalhes adicionais dos instrumentos são melhor descritos em uma especificação apropriada, folha de dados, manual do fabricante, etc.

2.6 Conteúdo de Identificação da Malha

A norma abrange a identificação de um instrumento e todos outros instrumentos ou funções de controle associados à presente malha. O uso é livre para aplicação de identificações adicionais, tais como número de serie, número da unidade, número da área, ou outros significados.

Tabela 2 – Identification Letters

	FIRST-LETTER (4)		SECCENDING-LETTERS (3)		
	Measured or initiating variable	Modifier	Readout or passive funcition	Outiput function	Modifier
A	Analysis (5,19)		Alarm		
B	Burner, Combustion		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
C	User's Choice (1)			Control (13)	
D	User's Choice (1)	Diferential (4)			
E	Voltage		Sensor (Primary Element)		
F	Flow Rate	Ratio (Francion) (4)			
G	User's Choice (1)		Glass, Viewing Device (9)		
H	Comando Manual				High (7, 15, 16)
I	Corrent (Electrical)		Indicate (10)		
J	Power	Scan (7)			
K	Time, Time Schedule	Time Rate of Change (4, 21)		Control Station (22)	
L	Level		Light (11)		Low (7, 15, 16)
M	User's Choice (1)	Momentary (4)			Middle, Intermediate (7, 15)
N	User's Choice (1)		User's Choice (1)	User's Choice (1)	User's Choice (1)
O	User's Choice (1)		Orifice, Restriction		
P	Pressure, Vaccum		Point (Test) Connecion		
Q	Quantity	Integrate, Totalize (4)			
R	Radiotion		Recorder (17)		
S	Speed, Frequency	Safety (8)		Switch (13)	
T	Temperature			Transmit (18)	
U	Multivariable (6)		Multifunction (12)	Multifunction (12)	Multifunction (12)
V	Vibration, Mechanical Analysis (19)			Válve, Damper, Louver (13)	
W	Weight, Force		Well		
X	Unclassified (2)	X Axis	Unclassified (2)	Unclassified (2)	Unclassified (2)
Y	Event, State or Presence (20)	Y Axis		Relay, Compute, Convert (13, 14, 18)	
Z	Position, Dimension	Z Axis		Driver, Actuator, Unclassified Final Control Element	

Note: Numbers in parentheses refer to specific explanatory notes on pages 15 and 16.

2.7 Símbolos de Linha de Instrumentos

Todas as linhas são apropriadas em relação às linhas do processo de tubulação:

(1) alimentação do instrumento * ou conexão ao processo

(2) sinal indefinido

(3) sinal pneumático **

(4) sinal elétrico

(5) sinal hidráulico

(6) tubo capilar

(7) sinal sônico ou eletromagnético (guiado) ***

(8) sinal sônico ou eletromagnético (não guiado) ***

(9) conexão interna do sistema ("software" ou "data link")

(10) conexão mecânica

2.7.1 Símbolos opcionais binários (ON – OFF)

(11) sinal binário pneumático

(12) sinal binário elétrico

* Sugerem-se as seguintes abreviaturas para denotar os tipos de alimentação.

AS – suprimento de ar
- IA – ar do instrumento } opções
- PA – ar da planta } opções

ES – alimentação elétrica

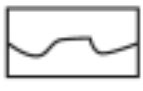
GS – alimentação de gás

HS – suprimento hidráulico

NS – suprimento de nitrogênio

SS – suprimento de vapor

WS – suprimento de água

Estas designações podem ser também aplicadas para suprimento de fluidos.

O valor do suprimento pode ser adicionado à linha de suprimento do instrumento; exemplo: AS-100, suprimento de ar 100-psi; ES-24DC; alimentação elétrica de 24VDC.

** O símbolo do sinal pneumático destina-se à utilização de sinal, usando qualquer gás.

*** Fenômeno eletromagnético inclui calor, ondas de rádio, radiação nuclear e luz.

Anotações

"OU" significa escolha do usuário. Recomenda-se coerência.

2.8 Símbolos gerais de instrumentos ou de funções

	Localização primária *** Normalmente acessível ao operador	Montagem do campo	Localização auxiliar *** Normalmente acessível ao operador
Instrumentos discretos	1 IPI ** *	2	3
Display compartilhado, controle compartilhado	4	5	6
Função em computador	74	8	9
Controle lógico programável	10	11	12
	13	14 GTE 2584-23 Instrumento com números de identificação grandes	15 Instrumentos montados no mesmo alojamento ****
	16 Luz piloto	17 C 12 Ponto de teste montado no painel	18 P ***** Purga
	19	20 diafragma de selagem	21 *** **** i Intertravamento lógico indefinido

* O tamanho do símbolo pode variar de acordo com a necessidade do usuário e do tipo do documento. Foi sugerido no diagrama de malha um tamanho de quadrado e círculo para diafragmas grandes. Recomenda-se coerência.

** As abreviaturas da escolha do usuário, tais como IP1 (painel do instrumento nº 1), IC2 (console do instrumento nº 2), CC3 (console do computador nº 3), podem ser usadas quando for necessário especificar a localização do instrumento ou da função.

*** Normalmente, os dispositivos de funções inacessíveis ou que se encontram na parte traseira do painel podem ser demonstrados através dos mesmos símbolos porém, com linhas horizontais usando-se os pontilhados.

Exemplo:

****	Não é obrigado a mostrar um alojamento comum.
*****	O desenho (losango) apresenta metade do tamanho de um losango grande.
******	Veja ANSI/ISA padrão S5.2 para símbolos lógicos específicos.

Anotações

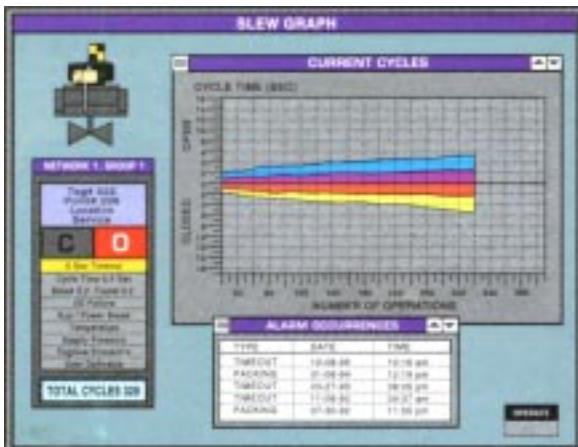
Elementos de uma Malha de Controle

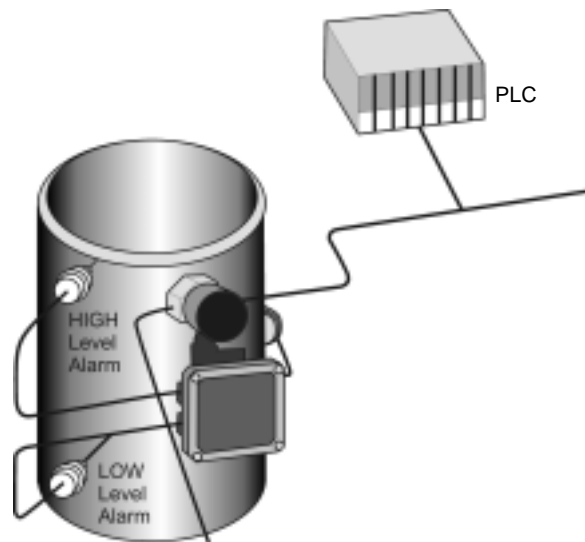
3

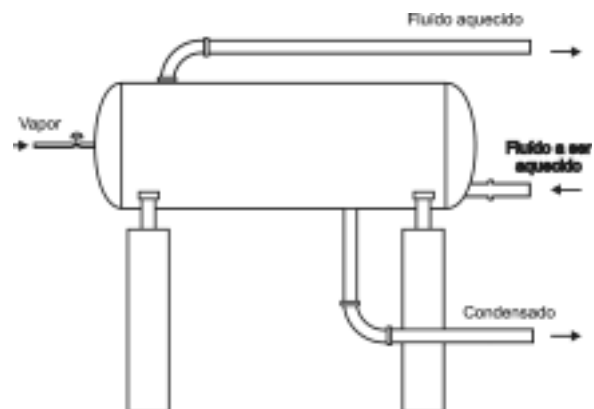
3.1 Variáveis de processo

Geralmente, existem várias condições internas e externas que afetam o desempenho de um processo. Estas condições são denominadas de variáveis de processo são elas: temperatura, pressão, nível, vazão, volume, etc. O processo pode ser controlado medindo-se a variável que representa o estado desejado e ajustando automaticamente as demais, de maneira a se conseguir um valor desejado para a variável controlada. As condições ambientes devem sempre ser incluídas na relação de variáveis do processo.

3.1.1 Variável controlada

É também denominada **variável de processo (PV)**. Indica mais diretamente a forma ou o estado desejado do produto. Considere-se, por exemplo, o sistema de aquecimento de água mostrado na Figura a seguir. A finalidade do sistema é fornecer uma determinada vazão de água aquecida. A variável mais indicativa deste objetivo é a temperatura da água de saída do aquecedor, que deve ser então a variável controlada.

3.1.2 Meio controlado

É a energia ou material no qual a variável é controlada. No processo anterior, o meio controlado é água na saída do processo, e a variável controlada, temperatura, representa uma característica d'água.

3.1.3 Variável manipulada

É aquela sobre a qual o controlador atua, no sentido de mantê-la no valor desejado. A variável manipulada pode ser qualquer variável que cause uma variação rápida na variável controlada do processo.

Processo industrial.

3.1.4 Agente de controle

É a energia ou material do processo, enquanto a variável manipulada corresponde a uma condição ou característica. No processo acima, o agente de controle é o vapor, pois a variável manipulada é a vazão do vapor.

Conforme observado, na figura anterior, as principais variáveis de processo são:

– variável controlada: temperatura da água;
– meio controlado: água na saída do processo;
– variável manipulada: vazão de vapor;
– agente de controle: vapor.

3.2 Malha de controle

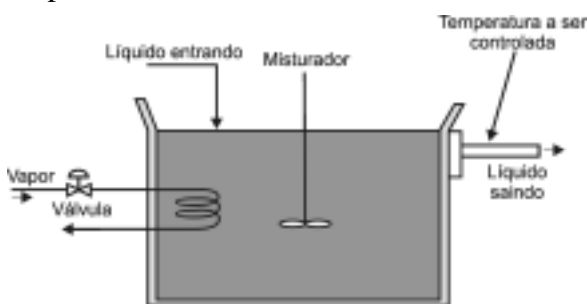
Quando se fala em regulação (ou controle), deve-se necessariamente subentender uma medição (de uma variável qualquer do processo), isto é, a informação que o regulador recebe. Recebida esta informação, o sistema regulador compara com um valor preestabelecido (chamado SET POINT), verifica-se a diferença entre ambos, age-se de maneira a diminuir a seqüência de operações: medir a variável – atuar no sistema de modo a minimizar a diferença entre a medida e o *set point* –, denominando-se **malha de controle**. Uma malha de controle pode ser **aberta** ou **fechada**.

3.2.1 Malha aberta

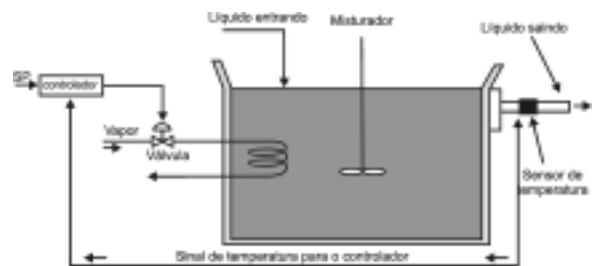
Na **malha aberta**, a informação sobre a variável controlada não é usada para ajustar qualquer entrada do sistema.

Exemplo: A informação acerca da temperatura do líquido de saída, não afeta o controle da entrada de vapor para o sistema, conforme mostrado na Figura a seguir.

3.2.2 Malha fechada

Por outro lado, na **malha fechada**, a informação sobre a variável controlada, com a respectiva comparação com o valor desejado, é usada para manipular uma ou mais variáveis do processo.

Regulação do processo.

Na Figura anterior, a informação acerca da temperatura do líquido de saída, vai acarretar uma regulação de uma variável do processo, no caso, da entrada de vapor. Caso a temperatura do líquido esteja baixa, abre-se mais a válvula, deixando entrar mais vapor para aquecer o líquido. E se, ao contrário, o líquido estiver muito quente (temperatura acima do valor pré-fixado), a válvula é fechada mais um pouco, impedindo a entrada de vapor, esfriando o líquido.

Nos sistemas de malha fechada, o controle de processo pode ser efetuado e compensado antes e depois de afetar a variável controlada. Isto pode ser demonstrado supondo-se que no exemplo anterior a variável controlada seja a temperatura de saída do líquido. Caso a temperatura do líquido seja controlada, como no caso da figura anterior, após o sistema ter afetado a variável, afirma-se que o controle é do tipo FEED-BACK, ou realimentado.

Malha de controle.

De um modo geral, os elementos de controle são divididos em dois grupos conforme mostrado na próxima Figura.

Dispositivos de campo:

a) **elementos primários**: são dispositivos com os quais são detectadas alterações na variável de processo.

b) **transmissor**: instrumento que mede uma determinada variável e a envia a distância para um instrumento receptor, normalmente localizado no painel. O elemento primário pode ser ou não parte integrante do transmissor.

c) **elemento final de controle** (E.F.C.): dispositivo que atua e modifica diretamente o valor da variável manipulada de uma malha de controle.

Localização dos instrumentos.

Dispositivos de painel:

a) **indicador**: instrumento que nos fornece uma indicação visual da situação das variáveis no processo. Um indicador pode-se apresentar na forma analógica ou digital.
b) **registrador**: instrumento que registra a variável através do traço contínuo, pontos de um gráfico, etc.
c) **conversor**: instrumento que recebe uma informação como um sinal elétrico ou pneumático, altera a forma deste e o emite como um sinal de saída. O conversor é também conhecido como transdutor. Todavia, o transdutor é um termo genérico cujo emprego específico para a conversão de sinal não é recomendado.
d) **controlador**: instrumento provido de uma saída de sinal para o processo, com o objetivo de manter a variável de processo (pressão, temperatura, vazão, nível, etc.) dentro do set point.

Os controladores podem ser divididos em:

- **analógico**: possui construção de tecnologia pneumática ou eletrônica.
- **digital**: possui construção de tecnologia digital, podendo ser do tipo single-loop ou multi-loop.
- **single-loop**: entende-se por single-loop um controlador, coordenando apenas uma malha de determinada variável (pressão, temperatura, nível, vazão, etc.).
- **multi-loop**: entende-se como um controlador, que atua sobre diversas variáveis. Isto significa que com apenas um controlador é possível controlar, simultaneamente, uma malha de pressão, uma malha de temperatura, uma malha de pH, etc.

e) **SDCD** (Sistema Digital de Controle Distribuído):

Sistema: Conjunto integrado de dispositivos que se completam no cumprimento das suas funções.

Digital: Utilizando técnicas de processamento digital (discreto) em contraposição ao análogo (contínuo).

De Controle: Com vistas a manter o comportamento de um dado processo dentro do pré-estabelecido.

Distribuido: Descentralização dos dados, do processamento e das decisões (estações remotas). Além de oferecer uma IHM (interface-homem-máquina) de grande resolução, permite interfaceamento com CLP (Controlador Lógico Programável), equipamentos inteligentes (Comunicação Digital – HART) e sistemas em rede.

Anotações

Medição de Pressão

4

4.1 Introdução

O presente capítulo tem por objetivo, conceituar pressão, uma das variáveis importantes presentes na indústria, e compreender os fenômenos relacionados a esta grandeza.

Na indústria, a variável pressão é uma das grandezas físicas constantemente inferidas como forma de monitorar ou controlar direta ou indiretamente a forma ou estado de um produto ou material.

Partindo-se do pressuposto que: "não se pode controlar o que não se mede", com tom óbvio, é possível extrair a verdade da base do controle automático de processo.

Na atualidade, o mercado tem disponibilizado diversas tecnologias na área de telemetria, estas por sua vez oferecem uma maior performance na medição, como precisão, exatidão e resolução.

Pressão

A medição de pressão é o mais importante padrão de medida, uma vez que as medidas de vazão, nível e outras podem ser feitas utilizando-se os mesmos princípios.

A pressão é definida como uma força atuando em uma unidade de área.

4.2 Peso Específico

Relação entre o peso e o volume de uma determinada substância. É representado pela letra gama (γ) e apresentada como unidade usual kgf/m^3.

4.3 Gravidade Específica

Relação entre a massa de uma substância e a massa de um mesmo volume de água, ambas tomadas à mesma temperatura.

4.4 Princípios, leis e teoremas da física utilizados na medição de pressão

4.4.1 Lei da Conservação de energia (Teorema de Bernoulli)

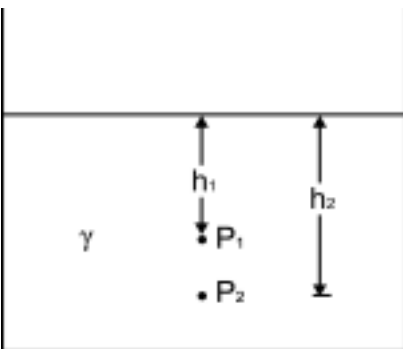
Teorema estabelecido por Bernoulli em 1738. Relaciona as energias potenciais e cinéticas de um fluido ideal, ou seja, sem viscosidade e incompressível. Através deste teorema, pode-se concluir que, para um fluido perfeito, toda forma de energia pode ser transformada em outra, permanecendo constante sua somatória ao longo de uma linha de corrente. Assim sua equação representativa é:

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho \cdot V^2{}_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho \cdot V^2{}_2 + \rho g \cdot h_2 = cte$$

Esta equação pode ser simplificada em função das seguintes situações:

a) Se a corrente for constante na direção horizontal, tem-se que:

$$P_1 + \tfrac{1}{2}\rho \cdot V^2{}_1 = P_2 + \tfrac{1}{2}\rho \cdot V^2{}_2 = cte$$

b) Se a velocidade é nula e, assim, o fluido encontra-se em repouso, tem-se:

$$P_1 + \rho g h_1 = P_2 + \rho g h_2 = cte$$

4.4.2 Teorema de Stevin

Este teorema foi estabelecido por Stevin e relaciona as pressões estáticas exercidas por um fluido em repouso com a altura da coluna do mesmo em um determinado reservatório.

Seu enunciado prevê que:

"A diferença de pressão entre dois pontos de um fluido em repouso é igual ao produto do peso específico do fluido pela diferença de cota entre os dois pontos".

$P_2 - P_1 = \Delta P = (h_2 - h_1) \cdot \gamma$

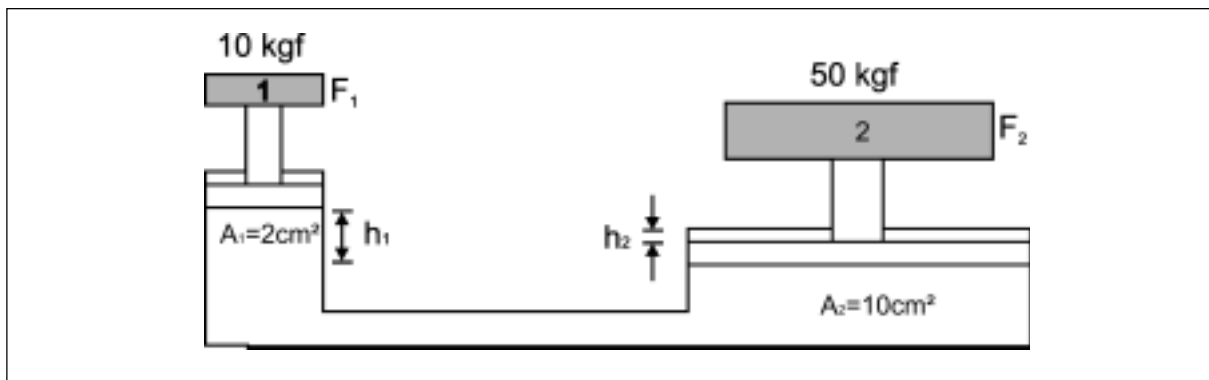
Observação:

1. Este teorema só é válido para fluidos em repouso.

2. A diferença de cotas entre dois pontos deve ser feita na vertical.

4.4.3 Princípio de Pascal

A pressão exercida em qualquer ponto de um líquido em forma estática, transmite-se integralmente em todas as direções e produz a mesma força em áreas iguais.

Devido aos fluidos serem praticamente incompressíveis, a força mecânica desenvolvida em um fluido sob pressão pode ser transmitida.

Se uma força F_1 = 10 kgf for aplicada sobre o pistão 1, o pistão 2 levantará um peso de 50 kgf devido ao fato do mesmo ter uma área 5 vezes maior que a área do pistão 1.

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad e \quad P_2 = \frac{F_2}{A_2} \quad \text{como } P_1 = P_2 \quad \therefore$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Outra relação:
O volume deslocado será o mesmo.
$V_1 = A_1 \times h_1 \qquad V_2 = A_2 \times h_2 \quad \rightarrow$

$$A_1 \times h_1 = A_2 h_2$$

Exemplo:
Sabendo-se que F_1 = 20 kgf, A_1 = 100 cm² e A_2 10 cm², é possível calcular F_2.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \quad \therefore F_2 = F_1 \times \frac{A_2}{A_1} = \frac{20 \times 10 \text{ kgf } \times \text{cm}^2}{100 \text{ cm}^2} \quad \therefore$$

$$F_2 = 2 \text{ kgf}$$

4.4.4 Equação Manométrica

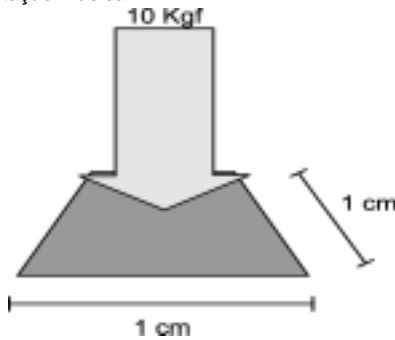
Esta equação relaciona as pressões aplicadas nos ramos de uma coluna de medição e a altura de coluna do líquido deslocado. A equação apresenta-se como a expressão matemática resultante dessa relação.

$$P_1 + (h_1 \cdot \gamma) = P_2 + (h_2 \cdot \gamma) \quad \therefore$$

$$P_1 - P_2 = \gamma \cdot (h_2 - h_1)$$

4.5 Definição de Pressão

Pode ser definida como a relação entre uma força aplicada perpendicularmente (90°) a uma área, conforme demonstrado na figura seguinte, e é expressa pela equação:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$$

Exemplo de aplicação de uma força em uma superfície (10 kgf/cm²).

A pressão pode ser também expressa como a somatória da pressão estática e pressão dinâmica e, assim, chamada de pressão total.

4.5.1 Pressão Estática

É a pressão exercida em um ponto, em fluidos estáticos, e transmitida integralmente em todas as direções, de modo a produzir a mesma força em áreas iguais.

4.5.2 Pressão Dinâmica

É a pressão exercida por um fluido em movimento paralelo à sua corrente. A pressão dinâmica é representada pela seguinte equação:

$$Pd = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \ (N/m^2)$$

4.5.3 Pressão total

É a pressão resultante da somatória das pressões estáticas e dinâmicas exercidas por um fluido que se encontra em movimento.

4.5.4 Tipos de Pressão Medidas

A pressão medida pode ser representada pela pressão absoluta, manométrica ou diferencial. A escolha de uma destas três depende do objetivo da medição. A seguir será definido cada tipo, bem como suas inter-relações e unidades utilizadas para representá-las.

Pressão absoluta

É a pressão positiva a partir do vácuo perfeito, ou seja, a soma da pressão atmosférica do local e a pressão manométrica. Geralmente, coloca-se a letra A após a unidade. Quando a pressão é representada abaixo da pressão atmosférica por pressão absoluta, esta é denominada grau de vácuo ou pressão barométrica.

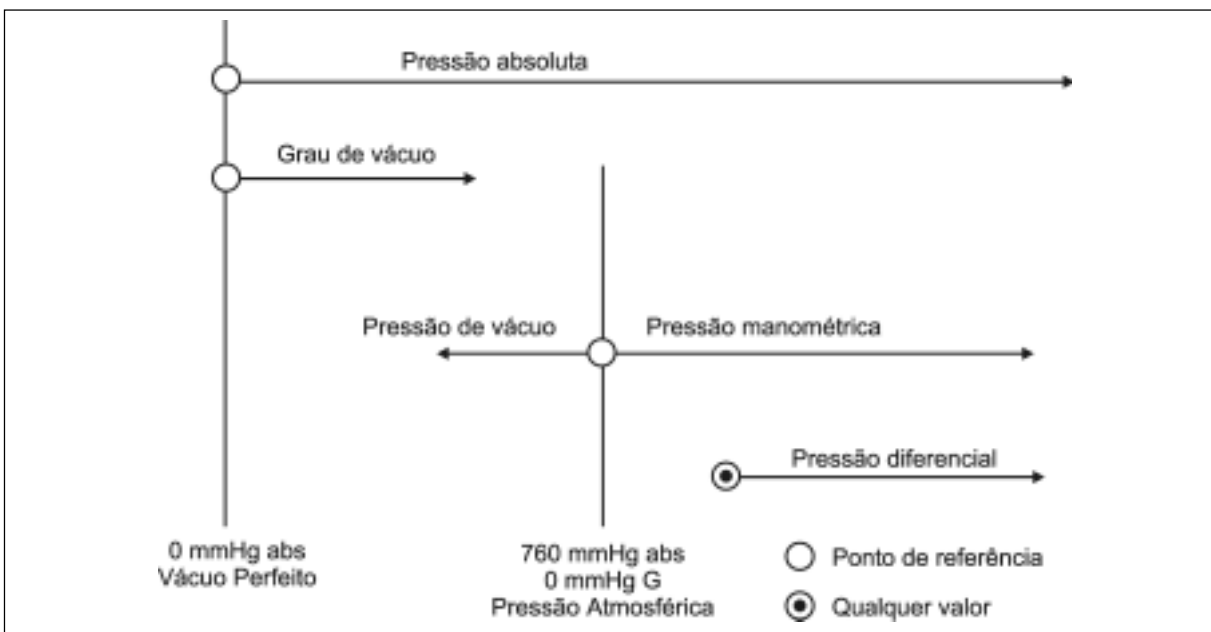
Pressão manométrica

É a pressão medida em relação à pressão atmosférica existente no local, podendo ser positiva ou negativa. Geralmente, coloca-se a letra “G” após a unidade para representá-la. Quando se fala em uma pressão negativa em relação à pressão atmosférica, esta é denominada pressão de vácuo.

Pressão diferencial

É o resultado da diferença de duas pressões medidas. Em outras palavras, é a pressão medida em qualquer ponto, exceto no ponto zero de referência da pressão atmosférica.

Relação entre Tipos de Pressão Medida

A figura a seguir mostra graficamente a relação entre os três tipos de pressão medida.

Relação entre dois tipos de pressão.

4.5.5 Unidades de Pressão

A pressão possui vários tipos de unidade. Os sistemas de unidade MKS, CGS, gravitacional e de coluna de líquido são utilizados tendo como referência a pressão atmosférica e escolhidos, dependendo da área de utilização, tipos de medida de pressão, faixa de medição, etc.

Em geral, são utilizados para medição de pressão as unidades Pa, N/m^2, kgf/cm^2, mmHg, mmH_2O, lbf/pol^2, Atm e bar.

A seleção da unidade é livre, mas, geralmente, deve-se escolher uma grandeza para que o valor medido possa estar nas faixa de 0,1 a 1000. Assim, as sete unidades são livres, porém, com freqüência, deve-se escolher uma grandeza para que o valor medido possa estar na faixa de pressão utilizada no campo da instrumentação industrial. Suas relações podem ser encontradas na tabela de conversão a seguir.

Tabela 1 - Conversão de Unidades de Pressão

	Kgf/cm^2	lbf/pol^2	BAR	Pol Hg	Pol H^2O	ATM	mmHg	mmH^2O	kpa
Kgf/cm^2	1	14,233	0,9807	28,95	393,83	0,9678	735,58	10003	98,0665
lbf/pol^2	0,0703	1	0,0689	2,036	27,689	0,068	51,71	70329	6,895
BAR	1,0197	14,504	1	29,53	401,6	0,98692	750,06	10200	100
Pol Hg	0,0345	0,4911	0,03386	1	13,599	0,0334	25,399	345,40	3,3863
Pol H_2O	0,002537	0,03609	0,00249	0,07348	1	0,002456	1,8665	25,399	0,24884
ATM	1,0332	14,696	1,0133	29,921	406,933	1	760,05	10335	101,325
mmHg	0,00135	0,019337	0,00133	0,03937	0,5354	0,001316	1	13,598	0,013332
mmH_2O	0,000099	0,00142	0,00098	0,00289	0,03937	0,00009	0,07353	1	0,0098
Kpa	0,010197	0,14504	0,01	0,29539	4,0158	0,009869	7,50062	101,998	1

H_2O a 60°F
Hg a 32°F

4.6 Técnicas de medição de pressão

4.6.1 Introdução

A medição de uma variável de processo é feita, sempre, baseada em princípios físicos ou químicos e nas modificações que sofrem as matérias quando sujeitas às alterações impostas por esta variável. A escolha dos princípios está associada às condições da aplicação. Nesse tópico, serão abordadas as principais técnicas e princípios de sua medição com objetivo de facilitar a análise e escolha do tipo mais adequado para cada aplicação.

4.6.2 Composição dos Medidores de Pressão

Os medidores de pressão, de um modo geral, divididos em três partes, são fabricados pela associação destas partes ou mesmo incorporados a conversores e, por isso, recebem o nome de transmissores de pressão. As três partes de um medidor de pressão são:

Elemento de recepção

Aquele que recebe a pressão a ser medida e a transforma em deslocamento ou força (exemplo: bourdon, fole, diafragma).

Elemento de transferência

Aquele que amplia o deslocamento ou a força do elemento de recepção ou que transforma o mesmo em um sinal único de transmissão do tipo elétrica ou pneumática, enviada ao elemento de indicação (exemplo: links mecânicos, relé piloto, amplificadores operacionais).

Elemento de indicação

Aquele que recebe o sinal do elemento de transferência e indica ou registra a pressão medida (exemplo: ponteiros, displays).

4.7 Principais Tipos de Medidores

4.7.1 Manômetros

São dispositivos utilizados para indicação local de pressão e, em geral, estão divididos em duas partes principais: o manômetro de líquidos, que utiliza um líquido como meio para se medir a pressão, e o manômetro tipo elástico, que utiliza a deformação de um elemento elástico como meio para se medir a pressão.

A tabela a seguir classifica os manômetros de acordo com os elementos de recepção.

Tipos de Manômetro	Elementos de Recepção
Manômetros de líquidos	Tipo tubo em "U" Tipo tubo reto Tipo tubo inclinado
Manômetro Elástico	Tipo tubo de Boudon Tipo C Tipo espiral Tipo helicoidal Tipo diafragma Tipo fole Tipo cápsula

4.7.2 Manômetro de Líquido

Princípio de funcionamento e construção

É um instrumento de medição e indicação local de pressão baseado na equação manométrica. Sua construção é simples e de baixo custo. Basicamente, é constituído por tubo de vidro com área seccional uniforme, uma escala graduada, um líquido de enchimento.

Líquidos de enchimento

A princípio, qualquer líquido com baixa viscosidade, e não volátil nas condições de medição, pode ser utilizado como líquido de enchimento. Entretanto, na prática, a água destilada e o mercúrio são os líquidos mais utilizados nesses manômetros.

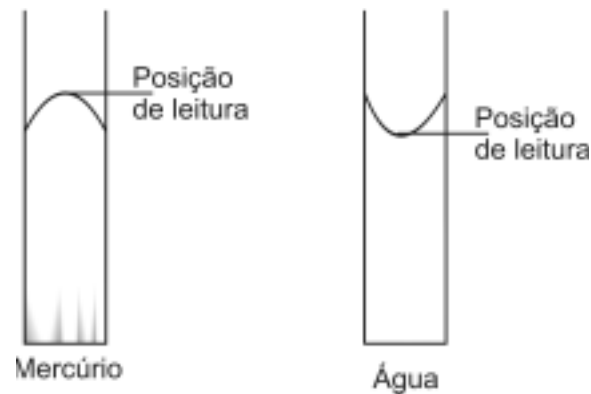
Faixa de medição

Em função do peso específico do líquido de enchimento e também da fragilidade do tubo de vidro que limita seu tamanho, este instrumento é utilizado somente para medição de baixas pressões.

Em termos práticos, a altura de coluna máxima disponível no mercado é de 2 metros, e, assim, a pressão máxima medida é de 2 mmH_2O, caso se utilize água destilada, e 2 mmHg com utilização do mercúrio.

Condição de leitura (formação do menisco)

O mercúrio e a água são os líquidos mais utilizados para os manômetros de líquidos e têm diferentes formas de menisco (figura seguinte). No caso do mercúrio, a leitura eéfeita na parte de cima do menisco, e para a água, na parte de baixo do menisco. A formação do menisco ocorre devido ao fenômeno de tubo capilar, causado pela tensão superficial do líquido e pela relação entre a adesão líquido-sólido e a coesão do líquido.

Num líquido que molha o sólido (água) tem-se uma adesão maior que a coesão. A ação da tensão superficial, neste caso, obriga o líquido a subir dentro de um pequeno tubo vertical. Para líquidos que não molham o sólido (mercúrio), a tensão superficial tende a rebaixar o menisco num pequeno tubo vertical. Não há relação entre pressão e tensão superficial dentro do tubo, precisando assim de compensação.

Forma de menisco.

O valor a ser compensado em relação ao diâmetro interno do tubo "d" é aproximadamente:

Mercúrio – somar $\frac{14}{d}$ no valor da leitura

Água – somar $\frac{30}{d}$ no valor da leitura

Observa-se que "d" é amplamente utilizado na faixa de 6 ~ 10 mm. Na faixa de 6 mm, o valor é muito grande, ou seja, 2,3 mm para mercúrio e 5 mm para água. Assim, quando a pressão de medição é zero, pode-se confirmar a posição do menisco. Neste instante, mede-se a altura em que a parte de cima ou a parte de baixo mudam pela pressão. Neste caso, não é preciso adicionar a compensação.

Quanto ao limite mínimo que se pode ler em uma escala graduada a olho nu, este é de aproximadamente 0,5 mm. Na prática, portanto, o valor mais utilizado para divisão de uma escala é de 1mm para manômetro de líquido de uso geral e de 0,1mm (com escala secundária) para manômetro padrão.

Influência da temperatura na leitura

Como a medição de pressão utilizando manômetro de líquido depende do peso específico do mesmo, a temperatura do ambiente onde o instrumento está instalado irá influenciar no resultado da leitura, sua variação, caso ocorra, deve ser então, compensada. Isto é necessário, pois na construção da escala é levada em consideração a massa específica do líquido a uma temperatura de referência.

Se o líquido utilizado for o mercúrio, normalmente, considera-se como temperatura de referência 0°C, e, por conseguinte, sua massa específica será 13.595,1 kg/m^3.

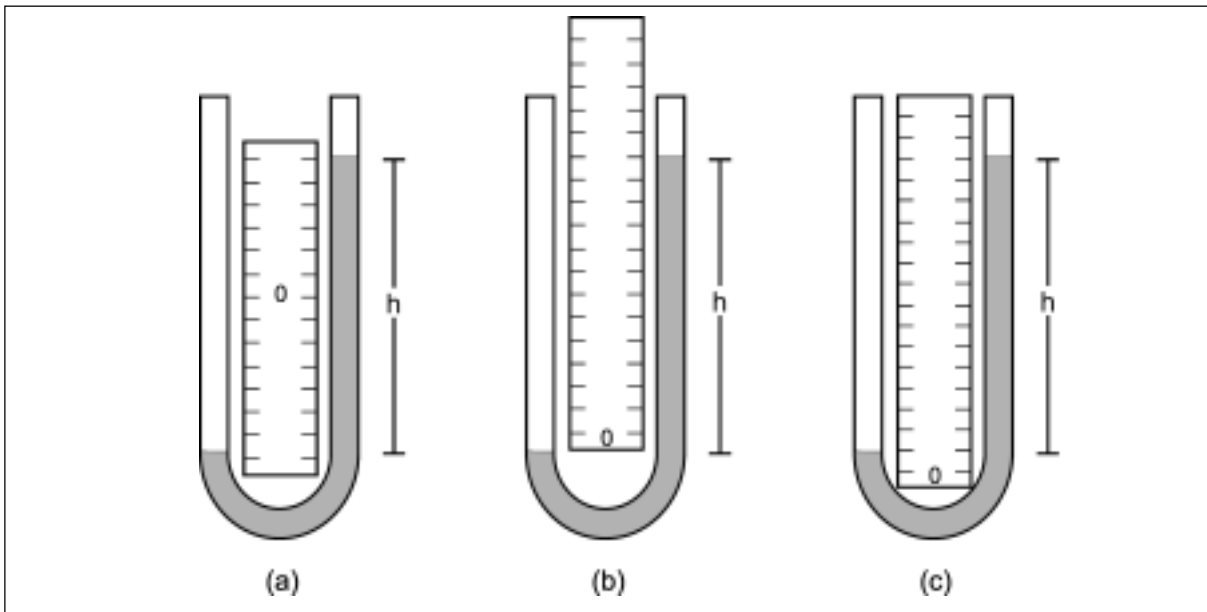
Caso a água destilada seja o líquido utilizado, considera-se como temperatura de referência 4°C, e, desta maneira, sua massa específica será 1.000,0 kg/cm^3.

Na prática, utiliza-se a temperatura de 20°C como referência e esta deve ser escrita na escala de pressão.

Outra influência da temperatura na medição de pressão por este dispositivo é decorrente do comprimento da escala alterar-se em função da variação de temperatura. Quando há necessidade de leituras precisas, esta variação deve ser compensada.

4.8 Tipos de Manômetro Líquido

4.8.1 Manômetro tipo Coluna em "U"

O tubo em "U" é um dos medidores de pressão mais simples entre os medidores para baixa pressão. É constituído por um tubo de material transparente (geralmente vidro), recurvado em forma de U e fixado sobre uma escala graduada. A figura seguinte mostra três formas básicas.

Manômetro tipo coluna "U".

No tipo (a), o zero da escala está no mesmo plano horizontal que a superfície do líquido quando as pressões P_1 e P_2 são iguais. Neste caso, a superfície do líquido desce no lado de alta pressão e, conseqüentemente, sobe no lado de baixa pressão. A leitura é feita, somando-se a quantidade deslocada a partir do zero nos lados de alta e baixa pressão.

No tipo (b), o ajuste de zero é feito em relação ao lado de alta pressão. Neste tipo, há necessidade de se ajustar a escala a cada mudança de pressão.

No tipo (c) a leitura é feita a partir do ponto mínimo da superfície do líquido no lado de alta pressão, subtraída do ponto máximo do lado de baixa pressão. A leitura pode ser feita, simplesmente, medindo o deslocamento do lado de baixa pressão a partir do mesmo nível do lado de alta pressão, tomando como referência o zero da escala.

A faixa de medição é de aproximadamente 0 ~ 2000 mmH_2O/mmHg.

4.8.2 Manômetro tipo Coluna Reta Vertical

O emprego deste manômetro é idêntico ao do tubo em "U".

As áreas dos ramos da coluna são diferentes, pois a maior pressão é aplicada normalmente no lado de área maior e provoca um pequeno deslocamento do líquido na mesma, fazendo com que o deslocamento no outro ramo seja bem maior, face ao volume deslocado ser o mesmo e sua área bem menor. Chamando as áreas do ramo reto e do ramo de maior área de "a" e "A", respectivamente, e aplicando pressões P_1 e P_2 em suas extremidades, tem-se pela equação manométrica:

$$P_1 - P_2 = \gamma (h_2 + h_1)$$

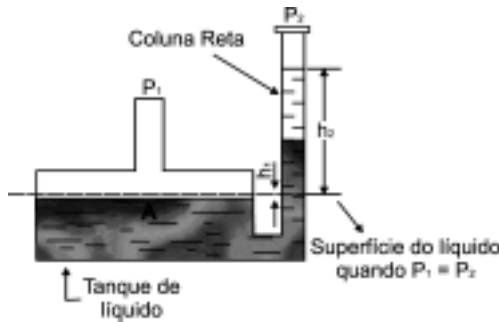
Como o volume deslocado é o mesmo, tem-se:

$$A \cdot h_1 = a \cdot h_2 \;\therefore\; h_1 = \frac{a}{A} \cdot h_2$$

Substituindo o valor de h_1, na equação manométrica, obtém-se:

$$P_1 - P_2 = \gamma \cdot h_2 \left(1 + \frac{a}{A}\right)$$

Como “A” é muito maior que “a”, a equação anterior pode ser simplificada e reescrita. Assim, a seguinte equação é utilizada para cálculo da pressão.

$$P_1 - P_2 = \gamma \cdot h_2$$

Manômetro tipo coluna reta vertical.

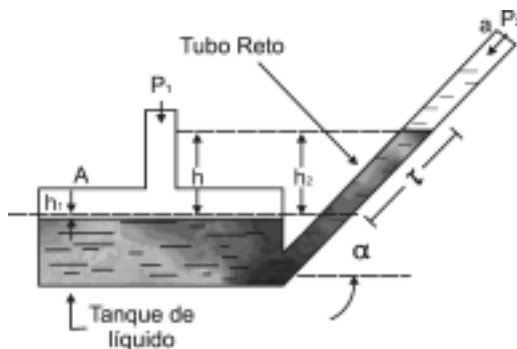
4.8.3 Manômetro tipo Coluna Inclinada

Este Manômetro é utilizado para medir baixas pressões na ordem de 50 mmH_2O. Sua construção é feita inclinando um tubo reto de pequeno diâmetro, de modo a medir, com boa precisão, pressões em função do deslocamento do líquido dentro do tubo. A vantagem adicional é a de expandir a escala de leitura o que é muitas vezes conveniente para medições de pequenas pressões com boa precisão (± 0,02 mmH_2O).

A figura a seguir representa o croqui construtivo de um manômetro tipo coluna inclinada, onde “α” é o ângulo de inclinação, “a” e “A” são áreas dos ramos.

P_1 e P_2 são as pressões aplicadas, sabendo-se que, $P_1 > P_2$.

Como a quantidade deslocada, em volume, é a mesma e os ramos apresentam áreas diferentes, tem-se:

$$P_1 - P_2 = \gamma . l \left(\frac{a}{A} + \text{sen } \alpha\right) \text{ pois } h_2 = l . \text{sen } \alpha$$

Manômetro tipo tubo inclinado.

Conseqüentemente, a proporção da diferença entre as alturas das duas superfícies do líquido é:

$$\frac{1}{h} = \frac{1}{h_1 + h_2} = \frac{1}{\frac{a}{A} + \text{sen } \alpha}$$

O movimento da superfície do líquido é aplicado de $\dfrac{1}{\frac{a}{A} \text{ sen } \alpha}$ vezes para cada tipo de tubo reto.

Quanto menores forem a/A e α, maior será a taxa de ampliação. Devido às influências do fenômeno de tubo capilar e da uniformidade do tubo, é recomendável utilizar o grau de inclinação de aproximadamente 1/10. A leitura, neste tipo de manômetro, é feita com o menisco na posição vertical em relação ao tubo reto. O diâmetro interno do tubo reto é de 2 ~ 3 mm, a faixa de utilização é de aproximadamente 10 ~ 50 mm H_2O, e é utilizado como padrão nas medidas de micropressão.

4.8.4 Aplicação

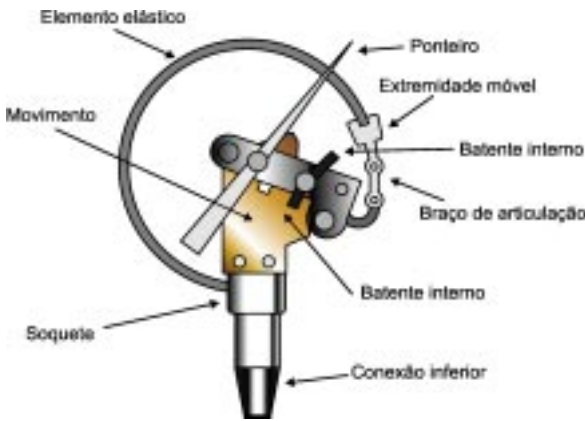
Os manômetros de líquido foram largamente utilizados na medição de pressão, nível e vazão nos primórdios da instrumentação. Hoje, com o advento de outras tecnologias, que permitem leituras remotas, a aplicação destes instrumentos na área industrial limita-se a locais ou situações cujos valores medidos não são cruciais no resultado final do processo, ou a locais cuja distância da sala de controle inviabiliza a instalação de outro tipo de instrumento. É nos laboratórios de calibração que ainda encontra-se, porém, sua grande utilização, pois podem ser tratados como padrões.

4.8.5 Manômetro Tubo Bourdon

Construção e característica do tubo de Bourdon

Tubo de Bourdon consiste em um tubo com seção oval, que, disposto em forma de “C”, espiral ou helicoidal conforme Figura a seguir, tem uma de suas extremidades fechada e a outra aberta à pressão a ser medida.

Com pressão agindo em seu interior, o tubo tende a tomar uma seção circular, resultando em movimento em sua extremidade fechada. Este movimento, através de engrenagens, é transmitido a um ponteiro, que irá indicar uma medida de pressão em uma escala graduada.

A construção básica, o mecanismo interno e seção de tubo de Bourdon, são mostrados nas figuras seguintes.

Construção básica do manômetro de Bourdon tipo “C”.

Mecanismo interno.

Seção de Bourdon.

4.9 Manômetro Tipo Elástico

Este tipo de instrumento de medição de pressão baseia-se na lei de Hooke sobre elasticidade dos materiais.

Em 1979, Robert Hooke estabeleceu esta lei que relaciona a força aplicada em um corpo e a deformação por ele sofrida. De acordo com seu enunciado: “o módulo da força aplicada em um corpo é proporcional à deformação provocada”.

Esta deformação pode ser dividida em elástica (determinada pelo limite de elasticidade), e plástica ou permanente.

Os medidores de pressão do tipo elástico são submetidos a valores de pressão sempre abaixo do limite de elasticidade, pois, assim, cessada a força a ele submetida, o medidor retorna para sua posição inicial sem perder suas características.

Esses medidores podem ser classificados em dois tipos:

1. conversor da deformação do elemento de recepção em sinal elétrico ou pneumático.
2. indicador/amplificador de deformação do elemento de recepção através da conversão de deslocamento linear em ângulos utilizando dispositivos mecânicos.

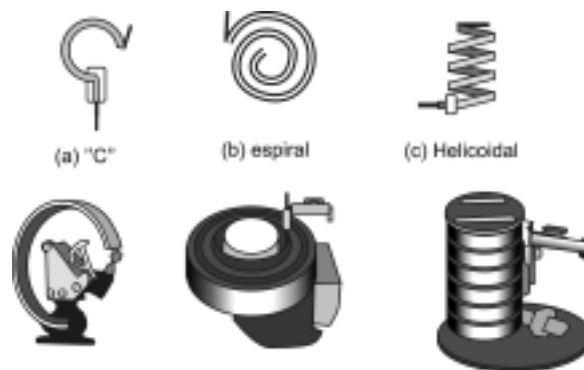
Funcionamento do medidor tipo elástico

O elemento de recepção de pressão tipo elástico sofre maior deformação quanto maior for a pressão aplicada. Esta deformação é medida por dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos.

O elemento de recepção de pressão tipo elástico, comumente chamado de manômetro, é aquele que mede a deformação elástica sofrida quando está submetido a uma força resultante da pressão aplicada sobre uma área específica. Esta deformação provoca um deslocamento específico linear, que é convertido, de forma proporcional, à um deslocamento angular através de mecanismo específico. Ao deslocamento angular, é anexado um ponteiro, que percorre uma escala linear, que representa a faixa de medição do elemento de recepção.

Principais tipos de elementos de recepção

A tabela abaixo mostra os principais tipos de elementos de recepção utilizados na medição de pressão baseada na deformação elástica, bem como sua aplicação e faixa recomendável de trabalho.

Elemento Recepção de Pressão	Aplicação / Restrição	Faixa de Pressão (máx)
Tubo de Bourdon	Não apropriado para micropressão	~ 1000 kgf/cm^2
Diafragma	Baixa pressão	~ 3 kgf/cm^2
Fole	Baixa e média pressão	~ 10 kgf/cm^2
Cápsula	Micropressão	~ 300 mmH_2O

b) Material de Bourdon

O tipo de material a ser utilizado na confecção de Bourdon é determinado de acordo com a faixa de pressão a ser medida e a compatibilidade com o fluido. A tabela a seguir indica os materiais mais utilizados na confecção do tubo de Bourdon.

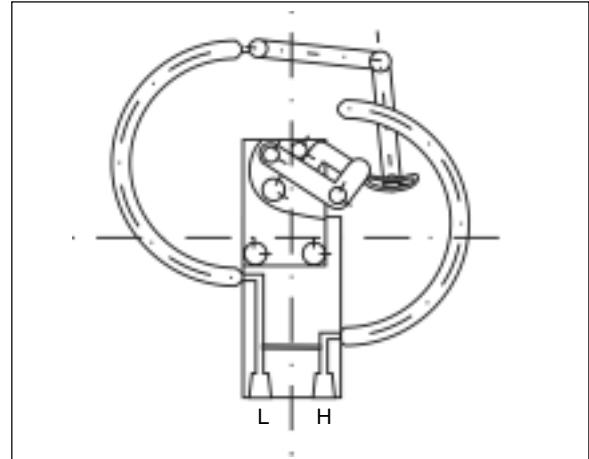
Material	Composição	Coeficiente de Elasticidade	Faixa de Utilização
Bronze	Cu 60 ~ 71 e Zn	1.1 x 10^8 kgf/cm²	~ 50 kgf/cm²
Alumibras	Cu 76, Zn 22, Al 12	1.1 x 10^4	~ 50
Aço Inox	Ni 10 ~ 14, Cr 16 ~18 e Fe	1.8 x 10^4	~ 700
Bronze Fosforoso	Cu 92, Sn 8, P 0.03	1.4 x 10^4	~ 50
Cobre berílio	Be 1 ~ 2, Co 0,35 e Cu	1.3 x 10^4	~ 700
Liga de Aço	Cr 0.9 ~ 1.2, Mo 0.15 ~ 30 e Fe	2.1 x 10^4	~ 700

Classificação dos manômetros tipo Bourdon

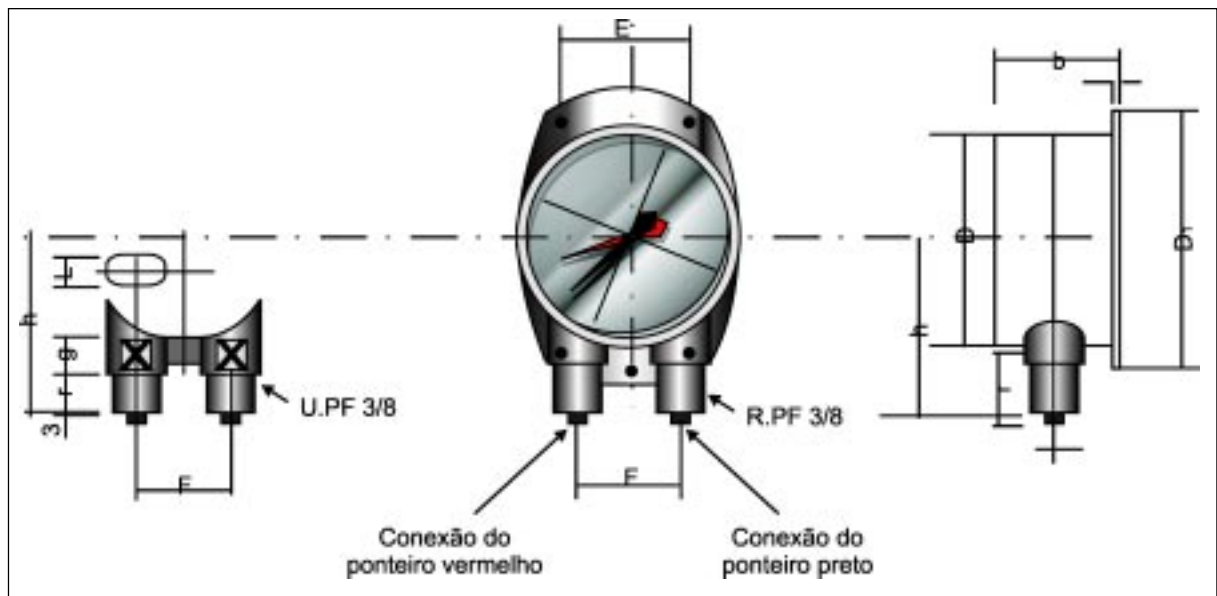
Os manômetros tipo Bourdon podem ser classificados quanto ao tipo de pressão medida e quanto à classe de precisão.

Quanto ao tipo de pressão, pode ser manométrica, vácuo, ou pressão diferencial.

Quanto à classe de precisão, a classificação pode ser obtida através das tabelas de Manômetro / vacuômetro e Manômetro composto, a seguir.

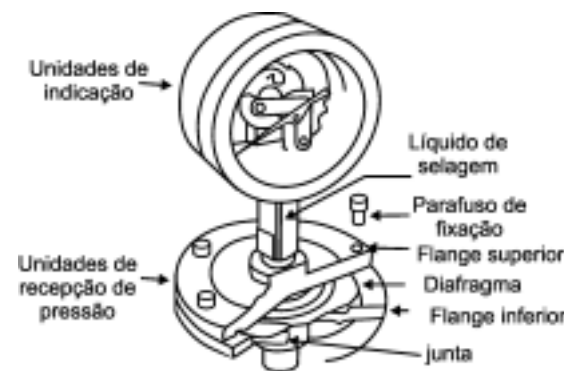
A pressão indicada é resultante da diferença de pressão aplicada em cada Bourdon. Por utilizar tubo de Bourdon, sua faixa de utilização é aproximadamente de 2 a 150 kgf/cm². Sua aplicação ocorre, geralmente, em medição de nível, vazão e perda de carga em filtros.

Manômetros de pressão diferencial.

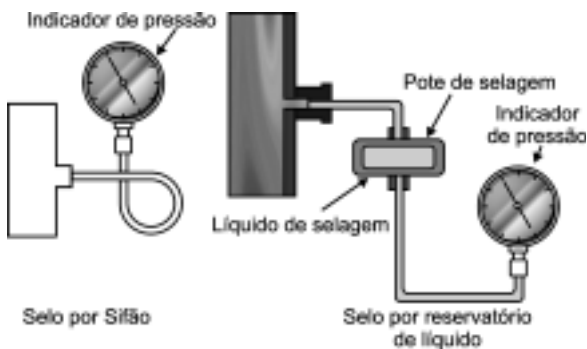
Manômetro duplo

São manômetros com dois Bourdons e mecanismos independentes, e utilizados para medir duas pressões distintas, porém com mesma faixa de trabalho. A vantagem deste tipo está no fato de utilizar uma única caixa e um único mostrador.

Manômetros tipo dos ponteiro.

Manômetro com selagem líquida

Em processos industriais que manipulam fluidos corrosivos, tóxicos, sujeitos à alta temperatura e/ou radioativos, a medição de pressão com manômetro tipo elástico torna-se impraticável, pois o Bourdon não é adequado para esta aplicação, seja em função dos efeitos da deformação proveniente da temperatura, seja pela dificuldade de escoamento de fluidos viscosos gerada pelo ataque químico de fluidos corrosivos. Nesse caso, a solução é recorrer à utilização de algum tipo de isolação para impedir o contato direto do fluido do processo com o Bourdon. Existem, basicamente, dois tipos de isolação, tecnicamente chamada de selagem. Um com selagem líquida, utilizando

um fluido líquido inerte em contato com o Bourdon e que não se mistura com o fluido do processo. Nesse caso é usado um pote de selagem conforme Figura abaixo.

Pote de Selagem.

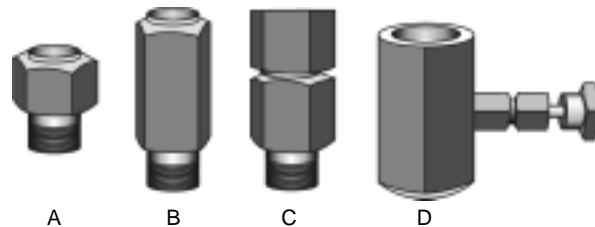
O outro tipo, também com selagem líquida, utiliza, porém, um diafragma como selo. O fluido de selagem mais utilizado, nesse caso, é a glicerina, por ser inerte a quase todos os fluidos. Este método é o mais utilizado e já é fornecido pelos fabricantes, quando solicitado. Um exemplo desse tipo é mostrado na Figura abaixo.

Manômetro com selo de diafragma.

Acessórios para manômetro tipo Bourdon

Amortecedores de pulsação

Os amortecedores de pulsação têm por finalidade restringir a passagem do fluido do processo até um ponto ideal em que a freqüência de pulsação torne-se nula ou quase nula.

Este acessório é instalado em conjunto com o manômetro, a fim de estabilizar ou diminuir as oscilações do ponteiro em função do sinal pulsante. A estabilização do ponteiro possibilita a leitura da pressão e também aumenta a vida útil do instrumento.

Os amortecedores de pulsação podem ser adquiridos com restrição fixa ou ajustáveis. A figura a seguir mostra alguns tipos de amortecedores de pulsação encontrados no mercado.

Amortecedores de pulsação.

A – Amortecedor de pulsação ajustável, dotado de disco interno com perfuração de diâmetro variável. Através da seleção dos orifícios do disco interno, escolhe-se o que apresenta melhor desempenho.

B – Amortecedor de pulsação não ajustável, dotado de capilar interno de inox.

C – Amortecedor de golpes de ariete, com corpo de latão e esfera bloqueadora de aço.

D – Válvula de agulha, supressora de pulsação com regulagem externa. Para encontrar o ponto de melhor desempenho, abre-se a válvula quase totalmente, em seguida, fecha-se gradativamente, até que o ponteiro do instrumento estabilize.

Sifões

Os sifões são utilizados para "isolar" o calor das linhas de vapor d'água ou líquidos muito quentes, cuja temperatura supera o limite previsto para o instrumento de pressão. O líquido que fica retido na curva do tubo-sifão esfria, e é essa porção de líquido que irá ter contato com o sensor elástico do instrumento, de forma a não permitir que a alta temperatura do processo atinja diretamente o mesmo.

Tipos de Sifão.

Supressor de pressão

Este acessório tem por finalidade proteger os manômetros de pressões que ultrapassem, ocasionalmente, as condições normais de operação. É recomendável, nesses casos, para evitar ruptura do elemento de pressão. Seu bloqueio está relacionado com a velocidade do incremento de pressão. O ponto de ajuste deve ser atingido de modo que, com incremento lento de pressão, o bloqueio ocorra entre 80 a 120% do valor da escala. Nesta condição, haverá o bloqueio em qualquer valor inferior a 80%, no caso de incrementos rápidos de pressão. Para manômetros com escala inferior a 3 kgf/cm^2, seu bloqueio poderá situar-se em até 130% do valor da escala.

Supressor de Pressão.

Manômetro tipo Diafragma

Este tipo de medidor utiliza o diafragma para medir determinada pressão, bem como, para separar o fluido medido do mecanismo interno. Foi mostrado anteriormente o manômetro tipo de Bourdon que utiliza selagem líquida. Neste item será abordado o medidor que utiliza um diafragma elástico.

A Figura anterior mostra este tipo de medidor.

A área de recepção de pressão do diafragma, muda de acordo com a quantidade de deslocamento. Para se obter linearidade, em função de grande deslocamento, deve-se fazer o diâmetro com dimensões maiores. A área efetiva do diafragma é calculada pela seguinte equação.

$$A_e = \frac{\pi}{8}(a^2 + b^2) \qquad (cm^2)$$

Onde:
a = diâmetro livre do diafragma

b = diâmetro de chapa reforçada

E ainda, a quantidade de deslocamento é calculada pela seguinte equação.

$$S = A_e .P . Cd$$

Anotações

Instrumento de Transmissão de sinal 5

Os instrumentos de transmissão de sinal de pressão têm a função de enviar informações à distância das condições atuais de processo desta variável. Tais informações são enviadas de forma padronizada, através de diversos tipos de sinais e utilizando sempre um dos elementos sensores já estudado anteriormente (fole, diafragma, cápsula, etc.), associados a conversores, cuja finalidade principal é transformar as variações de pressão detectadas pelos elementos sensores em sinais padrões de transmissão.

5.1 Tipos de transmissores de pressão

5.1.1 Transmissores pneumáticos

Pioneiros na instrumentação, estes transmissores possuem um elemento de transferência que converte o sinal detectado pelo elemento receptor de pressão em um sinal de transmissão pneumático. A faixa padrão de transmissão (pelo sistema internacional) é de 20 a 100 kPa, porém, na prática, são usados outros padrões equivalentes de transmissão tais como 3 ~ 15 psi, 0,2 a 1,0 kgf/cm^2 e 0,2 a 1,0 bar.

A alimentação do instrumento, denominada de suprimento de ar, é normalmente de 1,4 kgf/cm^2. Em instrumentos industriais, o ar de suprimento vindo da fonte (compressor) deve ser limpo e constante, contribuindo, com isto, para aumentar a vida do instrumento, bem como proporcionar seu bom funcionamento. Por isso, faz-se necessário controlar o ambiente ao redor do compressor, para obter satisfatoriamente o ar de suprimento.

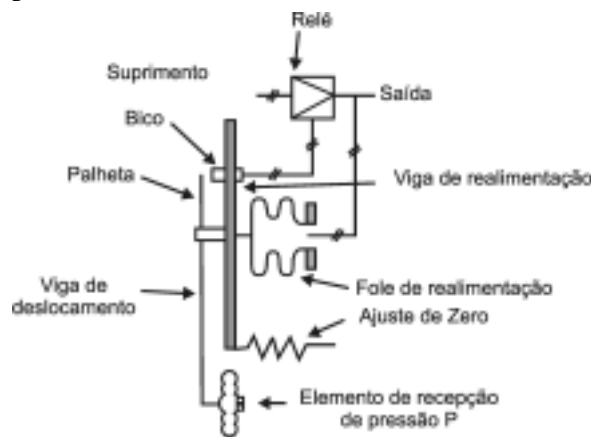
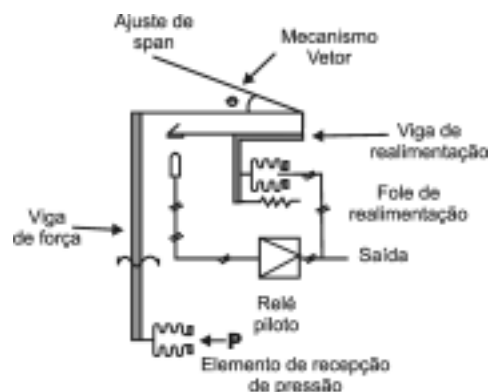
Os transmissores pneumáticos são fabricados a partir de dois métodos de conversão de sinal. São eles:

a) Método de equilíbrio.

b) Método de equilíbrio de movimento (conforme Figuras ao lado)

Em ambos os casos, um mecanismo constituído por uma lâmina metálica, denominada de palheta, e por um orifício específico de exaustão de ar, denominado de bico, chamado sistema bico-palheta, é utilizado como elemento de conversão. Este sistema é interligado a um dispositivo amplificador de sinais pneumáticos de 0,2 a 1,0 kgf/cm^2. Completa este instrumento, um fole de realimentação, cuja função é garantir as condições de equilíbrio do instrumento.

A diferença básica entre estes dois métodos está somente na forma com que o sinal detectado é convertido. No método de equilíbrio de força, o bico mantém-se fixo e somente a palheta afasta-se ou aproxima-se do mesmo para ganhar uma contrapressão, proporcional à detectada, que será amplificada pelo relé piloto.

No método de equilíbrio de movimento, tanto o bico quanto a palheta movimentam-se para obter a contrapressão correspondente à pressão detectada.

Método de equilíbrio de movimento ou posição.

Método de equilíbrio de força (equilíbrio de vetor).

5.1.2 Transmissores eletrônicos analógicos

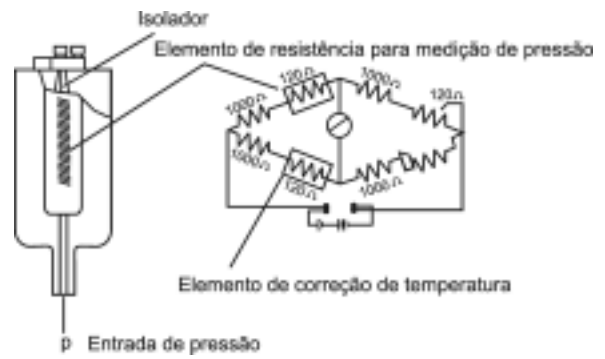
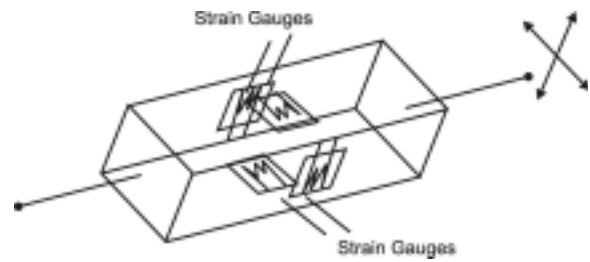
Estes transmissores, sucessores dos pneumáticos, possuem elementos de detecção similares aos pneumáticos, porém utilizam elementos de transferência que convertem o sinal de pressão detectado em sinal elétrico padronizado de 4 a 20 mAdc. Existem vários princípios físicos relacionados a variações de pressão que podem ser utilizados como elementos de transferência. Os mais utilizados, nos transmissores mais recentes, são:

Fita Extensiométrica (Strain Gauge)

É um dispositivo que mede a deformação elástica sofrida pelos sólidos quando estes são submetidos ao esforço de tração ou compressão. São, na realidade, fitas metálicas fixadas adequadamente nas faces de um corpo a ser submetido ao esforço de tração ou compressão e que têm sua seção transversal e seu comprimento alterados devido ao esforço imposto ao corpo. Estas fitas são interligadas em um circuito tipo ponte de WHEATSTONE ajustada e balanceada para condição inicial. Ao ter os valores de resistência da fita mudada com a pressão, esta sofre desbalanceamento proporcional à variação desta pressão. São utilizadas na confecção destas fitas extensiométricas, metais que possuem baixo coeficiente de temperatura para que exista uma relação linear entre resistência e tensão numa faixa mais ampla. Vários são os metais utilizados na confecção da fita extensiométrica. Como referência, a tabela a seguir mostra alguns destes.

Denominação	Constituição (Liga)	Faixa de Temperatura
Constantan	Cobre – Níquel	+ 10 ~ 204ºC
Karma	Cobre – Níquel Aditivado	Até 427ºC
479 Pt	Platina – Tungstênio	Até 649ºC
Nichrome V	Níquel – Cromo	Até 649ºC

Material para fabricação de Strain-gange.

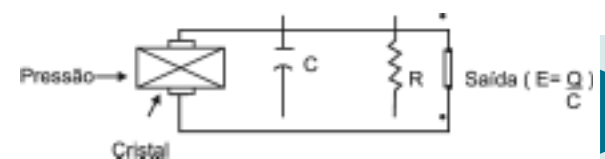
O elemento de resistência que mede pressão é utilizado como um lado de uma ponte conforme mostra a Figura seguinte para indicar a variação de resistência. Este tipo é utilizado como padrão para pressão maior que 3000 kgf/cm². Por ter pouca histerese e não possuir atraso de indicação é apropriado para medições de pressão variável.

Resistência elétrica para medição de pressão.

Fixação Strain-gange.

Sensor Piezoelétrico

A medição de pressão utilizando este tipo de sensor baseia-se no fato dos cristais assimétricos, ao sofrerem uma deformação elástica ao longo do seu eixo axial, produzirem internamente um potencial elétrico causando um fluxo de carga elétrica em um circuito externo.

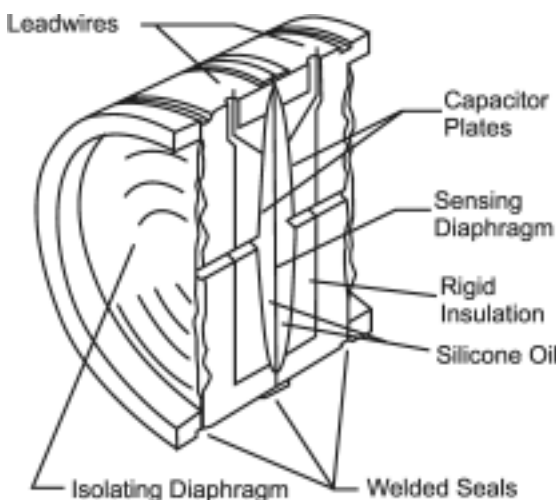
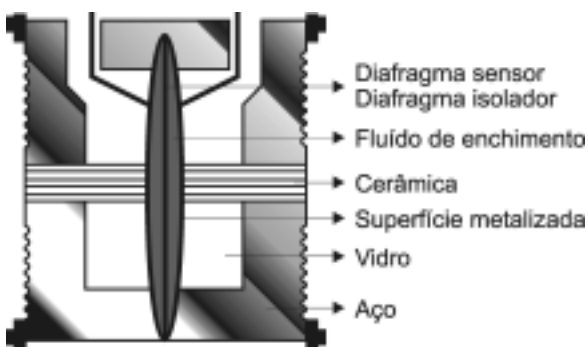
A quantidade elétrica produzida é proporcional à pressão aplicada, ou seja esta relação é linear o que facilita sua utilização. Outro fator importante para sua utilização está no fato de se utilizar o efeito piezoelétrico de semicondutores, reduzindo assim o tamanho e peso do transmissor, sem perda de precisão.

Cristais de turmalina, cerâmica Policristalina Sintética, quartzo e quartzo cultivado podem ser utilizados na sua fabricação, porém o quartzo cultivado é o mais empregado por apresentar características ideais de elasticidade e linearidade.

A figura seguinte mostra o diafragma simplificado da construção do sensor piezoelétrico.

Construção Sensor Piezoelétrico.

Sensor Capacitivo (Célula Capacitiva)

É o sensor mais utilizado em transmissores de pressão. Nele, um diafragma de medição move-se entre dois diafragmas fixos. Entre os diafragmas fixos e o móvel, existe um líquido de enchimento que funciona como um dielétrico. Como um capacitor de placas paralelas, é constituído por estas, separadas por um meio dielétrico. Ao sofrer o esforço de pressão, o diafragma móvel (que vem a ser uma das placas do capacitor) tem sua distância em relação ao diafragma modificada. Isto provoca modificação na capacitância de um círculo de medição e, tem-se, então, a medição de pressão.

Para que ocorra a medição, o circuito eletrônico é alimentado por um sinal AC através de um oscilador e, então, a freqüência ou a amplitude do sinal é modulada em função da variação de pressão para se ter a saída em corrente ou digital. Como líquido de enchimento, utiliza-se, normalmente, glicerina, ou “fluor-oil”.

5.2 Instrumentos para alarme e intertravamento

A variável pressão quando aplicada em um processo industrial qualquer, submete os equipamentos a esforços de deformação que devem estar sempre abaixo de limites de segurança, para que não ocorra ruptura e conseqüentemente acidentes. A garantia da permanência dos valores de pressão sempre abaixo dos limites de segurança deve ser feita de forma automática através de instrumentos de proteção. No caso da pressão, um dos instrumentos de proteção com grande aplicação é o pressostato, sobre o qual serão feitas abordagens neste tópico.

5.2.1 Pressostato

É um instrumento de medição de pressão utilizado como componente do sistema de proteção de equipamento. Sua função básica é de proteger a integridade de equipamentos contra sobrepressão ou subpressão aplicada aos mesmos durante seu funcionamento.

É constituído, em geral, por um sensor, um mecanismo de ajuste de set-point uma chave de duas posições (aberto ou fechado). Como elemento sensor, pode-se utilizar qualquer um dos tipos já estudados, dentre os quais o mais utilizado nas diversas aplicações é o diafragma.

Como mecanismo de ajuste de set-point utiliza-se, na maioria das aplicações, de uma mola com faixa de ajuste selecionada conforme pressão de trabalho.

O mecanismo de mudança de estado mais utilizado é o microinterruptor, entretanto também pode ser empregada uma ampola de vidro com mercúrio acionando uma chave interruptora.

Tipos de Pressostatos

Diferencial fixo ou ajustável

Quanto ao intervalo entre atuação e desarme, os pressostatos podem ser fornecidos com diferencial fixo e diferencial ajustável.

O pressostato diferencial fixo só oferece um ponto de ajuste, o de set-point.

O tipo ajustável permite ajuste de set-point e também alteração do intervalo entre o ponto de atuação e desarme do pressostato.

Contato SPDT e DPDT (Contato duplo)

Quanto ao contato disponível no microinterruptor, pode-se selecionar o do tipo SPDT, que é composto basicamente por um terminal comum, um contato normal aberto (NA) e um contato normal fechado (NF); ou selecionar o tipo DPDT, constituído de duplo contato, ou seja, dois comuns, dois NA e dois NF sendo um reserva do outro.

Como selecionar corretamente um pressostato

1. Vida útil do pressostato

A primeira consideração a ser feita na seleção de um pressostato é seu tempo de vida

útil, independentemente da pressão ou da sensibilidade desejada. Se o número de ciclos que o pressostato deve operar (vida útil), for de um milhão de vezes ou menos, o uso dos tipos diafragma ou bourdon é recomendável. Caso este número seja ultrapassado, deve-se usar o tipo pistão. Uma exceção a esta regra pode ser feita quando a variação de pressão no sistema for muito pequena (20% ou menos da faixa ajustável). Sob tais condições, os tipos diafragma ou bourdon podem ser usados até 2,5 milhões de ciclos, antes que ocorra a fadiga do elemento sensor.

Uma segunda consideração na escolha de um pressostato é a velocidade de ciclagem, independente de sua vida útil. Caso haja necessidade de uma ciclagem de mais de uma vez a cada três segundos, o tipo pistão deve ser especificado. O elemento sensor de qualquer pressostato dos tipos diafragma ou bourdon age como uma mola que irá aquecer e sofrer fadiga em operações de ciclagem extremamente rápidas, diminuindo, assim, a vida útil do pressostato.

2. Pressostato de Teste

A escolha do tipo de pressostato a ser usado – diafragma, pistão ou bourdon – deve também ser regida pela pressão de teste a que poderão ser submetidos (pressão de teste é o maior impulso – pico – de pressão que pode ocorrer em um sistema). Deve ser lembrado que, embora o manômetro registre uma pressão de operação constante, podem haver impulsos através do sistema para os quais o manômetro não possui sensibilidade (Zona morta). Os tipos diafragma e bourdon são extremamente sensíveis e podem ser afetados por esses impulsos. Os pressostatos tipo diafragma são disponíveis numa faixa ajustável desde vácuo até 20 bar, com pressões de teste de até 70 bar. O tipo bourdon pode operar até 1.240 bar, com pressões de teste de até 1.655 bar. Os tipos pistão compreendem uma faixa ajustável que vai até 25 bar, com pressões de teste de até 1.380 bar.

3. Função do Pressostato

A função do pressostato é outro fator determinante na seleção. Três tipos de pressostatos, baseados em sua função, são descritos a seguir:

a) Pressostato de um contato – atua sob uma única variação de pressão, abrindo ou fechando um único circuito elétrico, por meio da ação reversível do micro-interruptor.

b) Pressostato diferencial – atua em condições de variação entre duas pressões numa mesma linha controlada pelo mesmo instrumento.

c) Pressostato de dois contatos – atua, independentemente, sobre dois limites de uma mesma fonte de pressão, abrindo ou fechando dois circuitos elétricos independentes por meio da ação reversível de dois interruptores.

4. Tipos de caixas disponíveis

a) Pressostato com caixa à prova de tempo IP65 – Podem ser fornecidos também com um bloco de terminais interno para conexões elétricas, evitando a instalação de um bloco de terminais externo para a ligação dos cabos.

b) À prova de explosão – construídos de acordo com rígidos padrões de segurança, isolando os contatos e cabos de atmosferas explosivas.

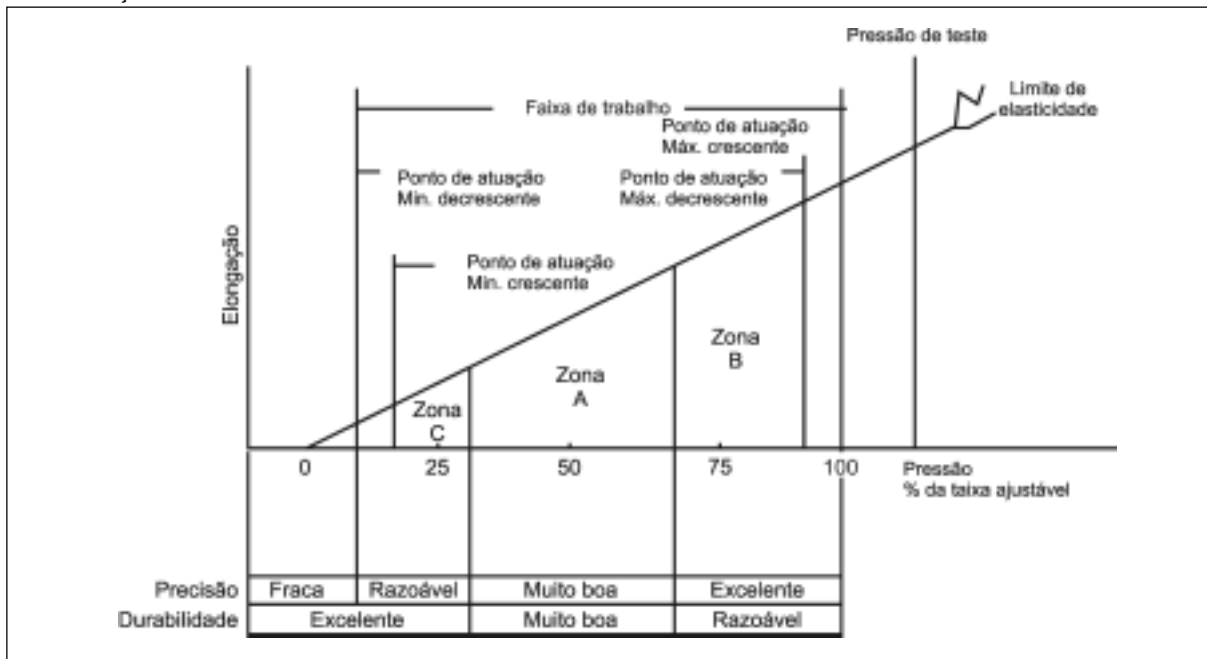
c) Desprovidos de caixa. Adequados às necessidades dos fabricantes de equipamento, que prevêm proteção especial para instrumento, pelo usuário.

5. Seleção da faixa ajustável

O termo "faixa de trabalho" define a faixa de pressão, normalmente chamada de faixa ajustável,na qual o pressostato irá operar em condições normais de trabalho.

Para maior precisão, o ponto de atuação deve situar-se acima de 65% da faixa ajustável.

Para maior durabilidade, o ponto de atuação deve situar-se abaixo de 65% da mesma (ver gráfico a seguir). A melhor combinação de precisão e durabilidade situa-se nos 30% centrais da faixa ajustável. Essa regra geral aplica-se a ambos os modelos, diafragma e bourdon.

1. Para precisão e durabilidade selecionar zona A.
2. Para durabilidade selecionar zona C.

6. Grau de Proteção

Especifica a proteção quanto à entrada de corpos sólidos e penetração de água nos orifícios existentes no motor, responsáveis pela refrigeração do mesmo.

O grau de proteção segundo a ABNT, é indicado pelas letras IP seguidas de dois algarismos.

a) Primeiro algarismo
- 0 - sem proteção;
- 1 - corpos sólidos com dimensões acima de 50 mm;
- 2 - corpos sólidos com dimensões acima de 12 mm;
- 3 - corpos sólidos com dimensões acima de 2,5 mm;
- 4 - corpos sólidos com dimensões acima de 1,0 mm
- 5 - proteção contra o acúmulo de poeira;
- 6 - proteção contra penetração de poeira.

b) Segundo algarismo
- 0 - sem proteção;
- 1 - pingos de água na vertical;
- 2 - pingos de água até inclinação de 15° com a vertical;
- 3 - água de chuva até a inclinação de 60° com a vertical;
- 4 - respingos em todas as direções;
- 5 - jatos de água em toas as direções.

5.3 Instrumentos conversores de sinais

Os componentes têm como função básica modificar a natureza ou amplitude de um sinal para permitir a interligação de instrumentos que trabalham com sinais diferentes.

Existem diversas situações para justificar sua aplicação, dentre elas as conversões de sinas de termopares para corrente ou tensão cujo padrão de transmissão corresponde a 4 a 20 mA ou 1 a 5 vdc, respectivamente. Todas as conversões são de igual importância, entretanto, como as mais comuns são as que permitem a comunicação entre sinais elétricos e pneumáticos, estas serão enfocadas a seguir.

5.3.1 Conversores eletro-pneumáticos e pneumáticos-elétricos

Também conhecidos como I/P e P/I, têm como função interfacear a instrumentação pneumática com a elétrica, bem como permitir a utilização de atuadores pneumáticos na instrumentação eletrônica analógica ou digital.

Conversores eletro-pneumáticos (I/P)

Este instrumento recebe um sinal de 4 a 20 mA dc, aplicado a uma unidade magnética (bobina), criando um campo magnético proporcional à intensidade de corrente que a excitou. Esse campo proporciona deflexão em uma barra fletora que atua como anteparo em relação a um bico de passagem de ar para exaustão. A aproximação desta barra, conhecida como palheta, ao bico cria uma contrapressão que é amplificada, através de uma unidade denominada relé piloto, para um sinal

pneumático proporcional à entrada. A pressão de saída é realimentada através do fole para permitir o equilíbrio do sistema.

Necessitam, basicamente, de ajuste de zero, obtido pela variação de carga de uma mola, e ajuste de largura de faixa (span) conseguido mudando-se a relação do momento de força. Como exemplo, observe o esquemático de um conversor na figura a seguir.

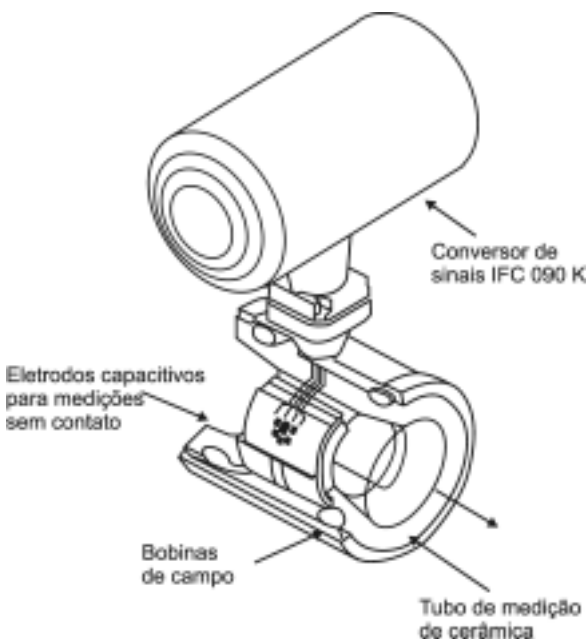
Anotações

Medição de Vazão

6

6.1 Introdução

A vazão é umas das principais variáveis do processo. Em aplicações como transferência de custódia, balanços de massas, controle de combustão, etc., precisão é fundamental. Devido a variedades de processos e produtos, haverá sempre um medidor mais indicado para uma determinada aplicação.

Este capítulo tem a finalidade de mostrar a diversidade dos medidores de vazão, bem como, seus princípios de funcionamento. As informações aqui abordadas poderão elucidar algumas dúvidas para a escolha do melhor método de medição desta variável tão importante.

Medidor magnético de vazão.

A medição de vazão inclui no seu sentido mais amplo, a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local na unidade de tempo.

A quantidade total movimentada pode ser medida em unidades de volume (litros, mm^3, cm^3, m^3, galões, pés cúbicos) ou em unidades de massa (g, Kg, toneladas, libras).

A vazão instantânea é dada pela divisão de uma das unidades anteriores, por uma unidade de tempo (litros/min, m^3/hora, galões/min). No caso de gases e vapores, a vazão instantânea pode ser expressa, em Kg/h ou m^3/h. Quando a vazão é medida em unidades de volume, devem ser especificadas as “condições base” consideradas. Assim, no caso de líquidos, é importante indicar que a vazão se considera “nas condições de operação”, ou a 0°C, 20°C, ou a outra temperatura qualquer. Na medição de gases, é comum indicar a vazão em Nm^3/h (metros cúbicos normais por hora, ou seja a temperatura de 0°C e a pressão atmosférica) ou em SCFM (pés cúbicos standard por minuto – temperatura 60 °F e 14.696 psi de pressão atmosférica). Vale dizer que:

1 m^3 = 1000 litros → 1 galão (americano) = 3,785 litros
1 pé cúbico = 0,0283168 m^3 → 1 libra = 0,4536 kg

6.1.1 Tipos de medidores de vazão

Existem dois tipos de medidores de vazão, os medidores de quantidade e os medidores volumétricos.

Medidores de quantidade

São aqueles que, em qualquer instante, permitem saber que quantidade de fluxo passou mas não a vazão do fluxo que está passando. Exemplos: bombas de gasolina, hidrômetros, balanças industriais, etc.

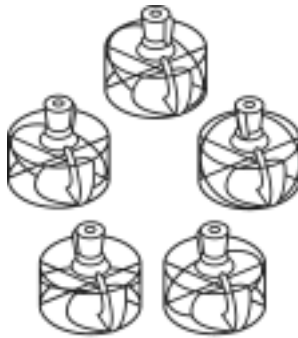
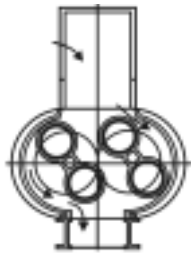
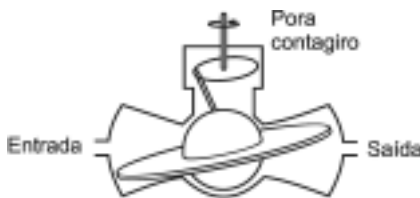
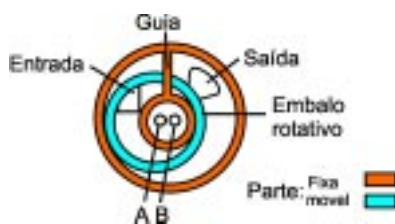
Medidores de Quantidade por Pesagem

São utilizados para medição de sólidos, ou seja, são as balanças industriais.

Medidores de Quantidade Volumétrica

São aqueles em que o fluido, passando em quantidades sucessivas pelo mecanismo de medição faz com que o mesmo acione o mecanismo de indicação.

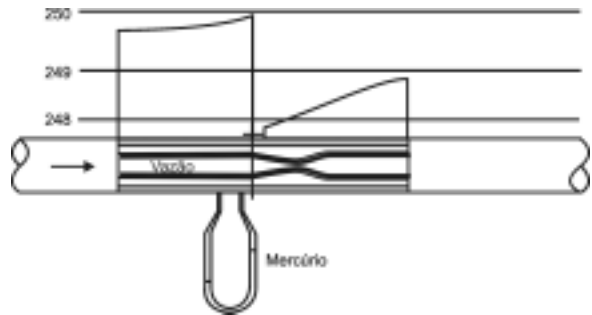
Este medidores são utilizados como os elementos primários das bombas de gasolina

e dos hidrômetros. Exemplos: disco nutante, tipo pistão rotativo oscilante, tipo pistão alternativo, tipo pás, tipo engrenagem, etc.

Tipo Pás Giratórias.

Tipo de Engrenagem.

Disco Nutante.

Tipo Pistão Rotativo.

Medidores volumétricos

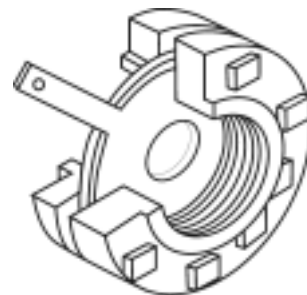
São aqueles que exprimem a vazão por unidade de tempo.

Medição de Vazão por Pressão Diferencial

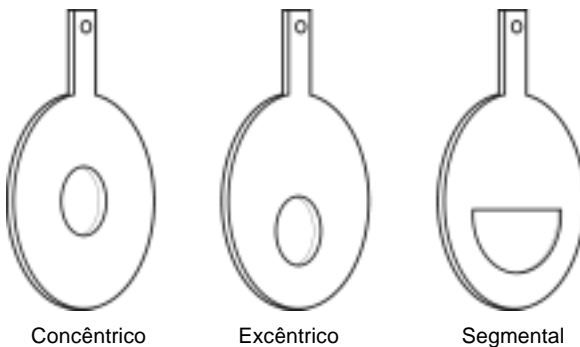
A pressão diferencial é produzida por vários tipos de elementos primários, colocados na tubulação de forma tal que o fluido passa através deles. Sua função é aumentar a velocidade do fluido diminuindo a área da seção em um pequeno comprimento para haver uma queda de pressão. A vazão pode então, ser medida a partir desta queda.

Uma vantagem primordial dos medidores de vazão por ΔP é que os mesmos podem ser aplicados numa grande variedade de medições, envolvendo a maioria dos gases e líquidos, inclusive fluidos com sólidos em suspensão, bem como fluídos viscosos, em uma faixa de temperatura e pressão bastante ampla. Um inconveniente deste tipo de medidor é a perda de carga que o mesmo causa ao processo. A placa de orifício é o dispositivo que provoca a maior perda de carga “irrecuperável” (de 40 a 80% do ΔP gerado).

6.2 Placa de Orifício

Dos muitos dispositivos inseridos numa tubulação para se criar uma pressão diferencial, o mais simples e mais comum empregado é o da placa de orifício.

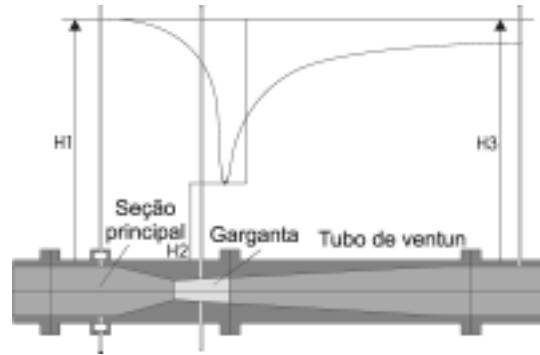
Consiste em uma placa precisamente perfurada, e instalada perpendicularmente ao eixo de tubulação.

É essencial que as bordas do orifício estejam sempre perfeitas, porque, se ficarem imprecisas ou corroídas pelo fluido, a precisão da medição será comprometida. Costumeiramente, são fabricadas com aço inox, monel, latão, etc., dependendo do fluido.

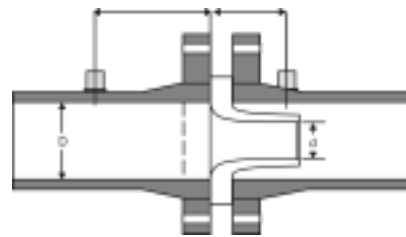
Vantagens	Desvantagens
Instalação fácil	Alta perda de carga
Econômica	Baixa rangeabilidade
Construção simples	
Manutenção e troca simples	

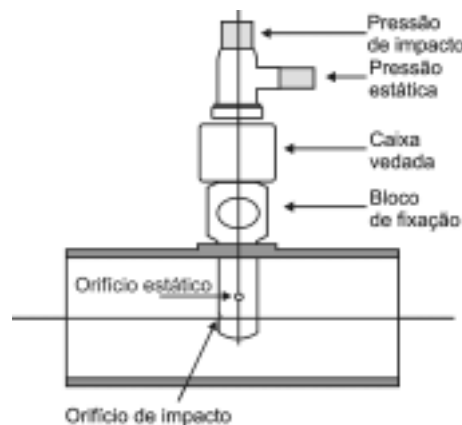
Tipos de orifícios

a) **Orifício concêntrico**: este tipo de placa é utilizado para líquidos, gases e vapores que não contenham sólidos em suspensão.
b) **Orifício excêntrico**: utilizado quando se tem fluido com sólidos em suspensão, que possam ser retirados e acumulados na fase da placa. Para tanto, o orifício está posicionado na parte inferior, dentro do tubo.
c) **Orifício segmental**: esta placa tem a abertura para passagem de fluido, disposta em forma de segmento de círculo. É destinada para uso em fluidos laminados e com alta porcentagem de sólidos em suspensão.

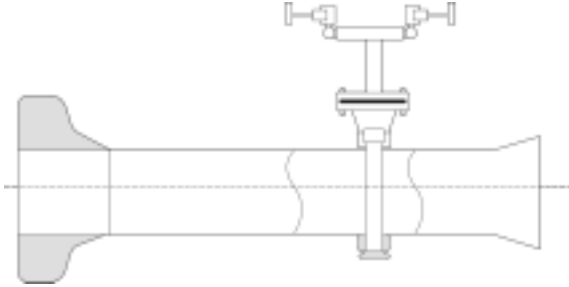
6.3 Tubo Venturi

O tubo Venturi combina dentro de uma unidade simples uma garganta estreitada entre duas seções cônicas e está usualmente instalado entre duas flanges, em tubulações. Seu propósito é acelerar o fluido e temporariamente baixar sua pressão estática.

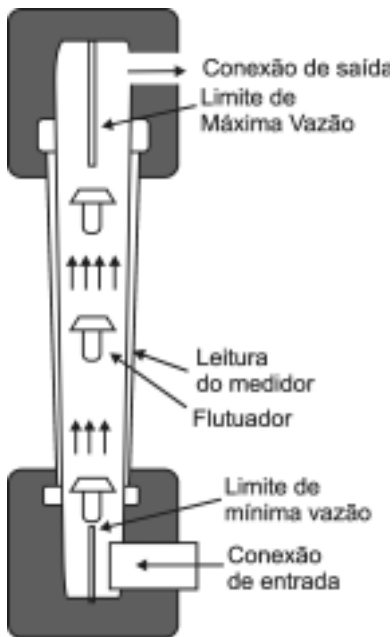
A recuperação de pressão em um tubo Venturi é bastante eficiente, como podemos ver na Figura a seguir, sendo seu uso recomendado quando se deseja um maior restabelecimento de pressão e o fluido medido carrega sólidos em suspensão. O Venturi produz um diferencial menor que uma placa de orifício para uma mesma vazão e diâmetro igual à sua garganta.

6.3.1 Bocal de Vazão

O Bocal de vazão (Flow nozzle) é, em muitos aspectos, um meio termo entre a placa de orifício e o tubo Venturi. O perfil dos bocais de vazão permite sua aplicação em serviços em que o fluido é abrasivo e corrosivo. O perfil de entrada é projetado de forma a guiar a veia até atingir a seção estrangulada do elemento de medição, seguindo uma curva elíptica (projeto ASME) ou pseudoelíptica (projeto ISA). Seu principal uso é em medição de vapor com alta velocidade, recomendado para tubulações > 50 mm.

6.3.2 Tubo Pitot

É um dispositivo para medição de vazão através da velocidade detectada em um ponto de tubulação. Possui uma abertura em sua extremidade. Tal abertura encontra-se na direção da corrente fluida de um duto. A diferença entre pressão total e a pressão estática da linha resulta na pressão dinâmica, que é proporcional ao quadrado da velocidade.

6.3.3 Medidor Tipo Annubar

O Annubar é um dispositivo de produção de pressão diferencial, que ocupa todo o diâmetro do tubo. É projetado para medir a vazão total, de forma diferente dos dispositivos tradicionais de pressão diferencial.

6.3.4 Rotâmetros

São medidores de vazão por área variável, nos quais um flutuador varia sua posição dentro de um tubo cônico, proporcionalmente à vazão do fluido. Basicamente, um rotâmetro consiste em duas partes:

1. Um tubo de vidro de formato cônico, o qual é colocado verticalmente na tubulação em que passa o fluido a ser medido. A extremidade maior do tubo cônico fica voltada para cima.
2. No interior do tubo cônico, há um flutuador que se move verticalmente, em função da vazão medida.

6.3.5 Princípio Básico

O fluido passa através do tubo da base para o topo. Quando não há vazão, o flutuador permanece na base do tubo e seu diâmetro maior é, em geral, selecionado de tal maneira que bloqueia a pequena extremidade do tubo quase que completamente. Quando a vazão começa e o fluido atinge o flutuador, o empuxo torna o flutuador mais leve, porém, como o flutuador tem uma densidade maior que a do fluido, o empuxo não é suficiente para levantar o flutuador.

A área de passagem oferece resistência à vazão e a queda de pressão do fluido começa a aumentar. Quando a pressão diferencial, somada ao efeito de empuxo do líquido, excede a pressão devido ao peso do flutuador, então o flutuador sobe e flutua na corrente fluida.

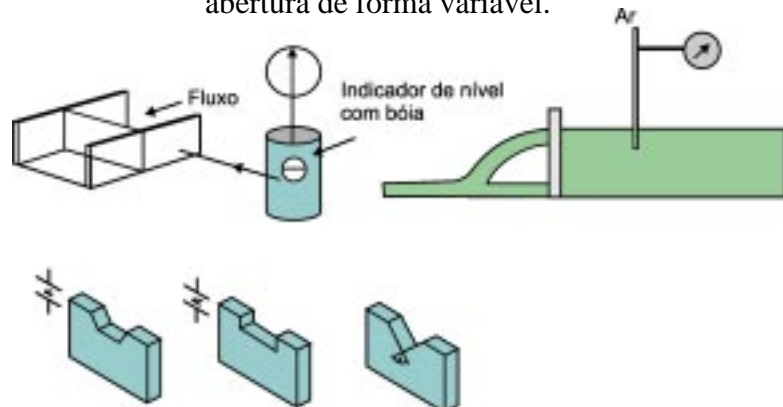
Com o movimento ascendente do flutuador em direção à parte mais larga do tubo, a área anular, entre a parede do tubo de vidro e a periferia do flutuador, aumenta. Como a área aumenta, o diferencial de pressão devido ao flutuador decresce. O flutuador ficará em equilíbrio dinâmico, quando a pressão diferencial através do flutuador somada ao efeito de empuxo contrabalançar o peso do flutuador.

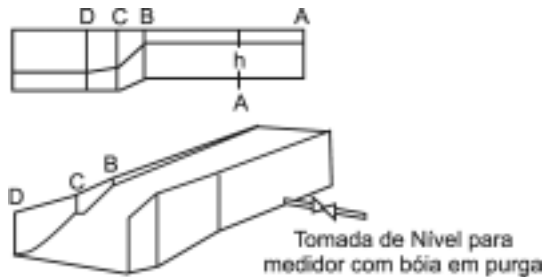
Qualquer aumento na vazão movimenta o flutuador para a parte superior do tubo de vidro e a diminuição causa uma queda a um nível mais baixo. Cada posição do flutuador corresponde a um valor determinado de vazão e somente um. É necessário colocar uma escala calibrada na parte externa do tubo e a vazão poderá ser determinada pela observação direta da posição do flutuador.

6.4 Medidores de vazão em canais abertos

Os dois principais tipos são: o vertedor e a calha de Parshall.

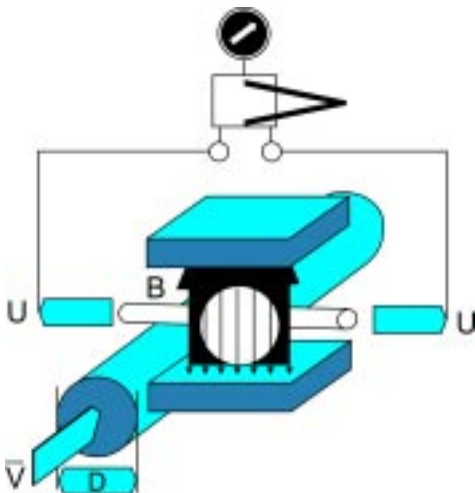
6.4.1 Vertedor

O vertedor mede a altura estática do fluxo em reservatórios, que vertem o fluido de uma abertura de forma variável.

6.4.2 Calha de Parshall

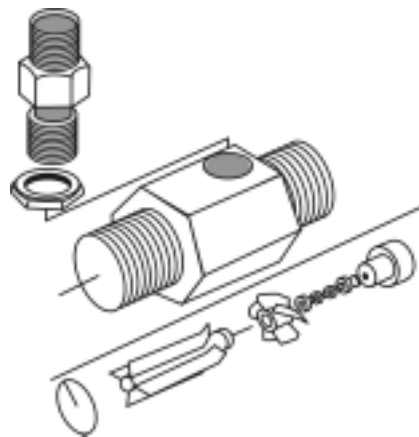
O medidor tipo calha de Parshall é um tipo de Venturi aberto que mede a altura estática do fluxo. É um medidor mais vantajoso que o vertedor, porque apresenta menor perda de carga e serve para medir fluidos com sólidos em suspensão.

6.5 Medidores especiais de vazão

Os principais medidores especiais de vazão são: medidores de vazão com eletrodos, tipo turbina, tipo Coriolis, Vortex e Ultrasônico.

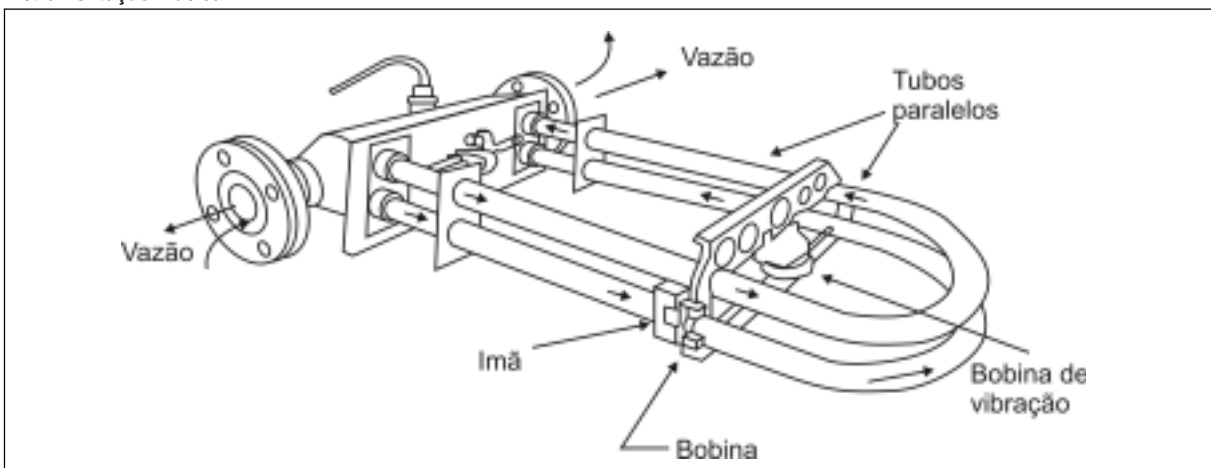
6.5.1 Medidor Eletromagnético de Vazão

O medidor magnético de vazão é, seguramente, um dos medidores mais flexíveis e universais dentre os métodos de medição de vazão. Sua perda de carga é equivalente a de um trecho reto de tubulação, já que não possui qualquer obstrução. É virtualmente insensível à densidade e à viscosidade do fluido de medição. Medidores magnéticos são, portanto, ideais para medição de produtos químicos altamente corrosivos, fluidos com sólidos em suspensão, lama, água, polpa de papel, etc. Sua aplicação estende-se desde saneamento até indústrias químicas, papel e celulose, mineração e indústrias alimentícias. A única restrição é que o fluido tem que ser eletricamente condutivo. Tem, ainda, como limitação o fato de fluidos com propriedades magnéticas adicionarem um certo erro de medição.

6.5.2 Medidor Tipo Turbina

O medidor é constituído, basicamente, por um rotor montado axialmente na tubulação. O rotor é provido de aletas que o fazem girar quando passa um fluido na tubulação do processo. Uma bobina captadora com um ímã permanente é montada fora da trajetória do fluido.

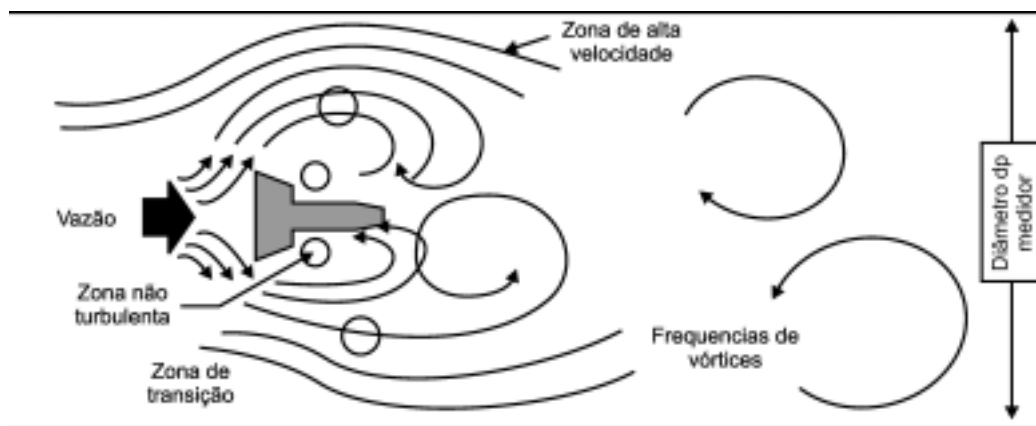
Quando este se movimenta através do tubo, o rotor gira a uma velocidade determinada pela velocidade do fluido e pelo ângulo das lâminas do rotor. A medida que cada lâmina passa diante da bobina e do ímã, ocorre um variação da relutância do circuito magnético e do fluxo magnético total a que está submetida a bobina. Verifica-se, então, a indução de um ciclo de tensão alternada. A freqüência dos pulsos gerados desta maneira é proporcional à velocidade do fluido e a vazão pode ser determinada pela medição / totalização de pulsos.

6.5.3 Medidor por Efeito Coriolis

É um instrumento de grande sucesso no momento, pois tem grande aplicabilidade desde a indústria alimentícia, farmacêutica, química, papel, petróleo, entre outras. Sua medição, independe das variáveis de processos - densidade, viscosidade, condutibilidade, pressão, temperatura e perfil do fluido.

Resumidamente, um medidor Coriolis possui dois componentes: tubos de sensores de medição e transmissor. Os tubos de medição são submetidos a uma oscilação e ficam vibrando em sua própria freqüência natural à baixa amplitude, quase imperceptível a olho nu. Quando um fluido qualquer é introduzido no tubo em vibração, o efeito do Coriolis manifesta-se causando uma deformação, isto é, uma torção, que é captada por meio de sensores magnéticos que geram uma tensão em formato de ondas senoidais.

As forças geradas pelos tubos criam uma certa oposição à passagem do fluido em sua região de entrada (região de bobina 1), e, em oposição, auxiliam o fluido na região de saída dos tubos.

O atraso entre os dois lados é diretamente proporcional à vazão mássica. Um RTD (“resistor temperature differetial”) é montado no tubo, monitorando a temperatura deste, a fim de compensar as vibrações das deformações elásticas sofridas com a oscilação da temperatura.

6.5.4 Medidor Vortex

Quando um anteparo de geometria definida é colocado de forma a obstruir parcialmente uma tubulação em que escoa um fluido, ocorre a formação de vórtices: que se desprendem alternadamente de cada lado do anteparo, como mostrado na figura a seguir. Este é um fenômeno muito conhecido e demostrado em todos os livros de mecânica dos fluidos. Os vórtices também podem ser observados em situações freqüentes do nosso dai a dia, como por exemplo, o movimento oscilatório das plantas aquáticas, em razão da correnteza, as bandeiras flutuando ao vento, as oscilações das copas das árvores ou dos fios elétricos quando expostos ao vento.

6.5.5 Medidores Ultra-sônicos

Os medidores de vazão que usam a velocidade do som como meio auxiliar de medição podem ser divididos em dois tipos principais:

– medidores a efeito doppler e
– medidores de tempo de trânsito.

Existem medidores ultra-sônicos nos quais os transdutores são presos à superfície externa da tubulação, e outros com os transdutores em contato direto com o fluido. Os transdutores-emissores de ultra-sons consistem em cristais piezoelétricos usados como fonte de ultra-som, para evitar sinais acústicos que passam no fluido, antes de atingir os sensores correspondentes.

6.5.6 Medidores de efeito Doppler

O efeito Doppler é a aparente variação de freqüência produzida pelo movimento relativo

de um emissor e de um receptor de freqüência. No caso, esta variação de freqüência ocorre quando as ondas são refletidas pelas partículas móveis do fluido. Nos medidores baseados neste princípio, os transdutores-emissores projetam um feixe contínuo de ultra-som na faixa das centenas de khz. Os ultra-sons refletidos por partículas veiculadas pelo fluido têm sua freqüência alterada proporcionalmente ao componente da velocidade das partículas na direção do feixe. Estes instrumentos são, conseqüentemente, sensíveis ao tipo de partícula.

Bibliografia

FOW MEASSURING
Autores: W. H. HOWE, J. G. KOPP, R. SIEV e B. G. LIPTAK

MANUAL DE MEDIÇÃO E VAZÃO
Autor: GERARD J. DELMÉE

Anotações

Medição de Nível

7

Resumo

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre as principais técnicas utilizadas industrialmente na medição de nível, suas principais características e aplicações.

7.1 Introdução

Nível é a altura do conteúdo sólido ou líquido de um reservatório. Trata-se de uma das principais variáveis utilizadas em controle de processos contínuos, pois, através de sua medição, torna-se possível:

a) avaliar o volume estocado de materiais em tanques de armazenamento;
b) balanço de materiais de processos contínuos em que existam volumes líquidos ou sólidos de acumulação temporária, reações, mistura, etc.;
c) segurança e controle de alguns processos onde o nível do produto não pode ultrapassar determinados limites.

7.2 Métodos de medição de nível de líquido

Os três tipos básicos de medição de nível são:

a) direto,
b) indireto e
c) descontínuo

7.2.1 Medição direta

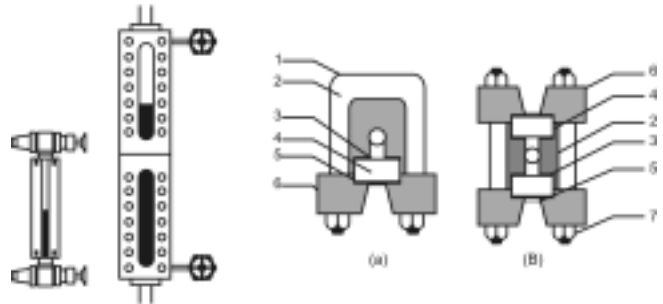
É a medição em que é tomada como referência a posição do plano superior da substância medida. Neste tipo de medição, podem-se utilizar réguas ou gabaritos, visores de nível, bóia ou flutuador.

Régua ou Gabarito

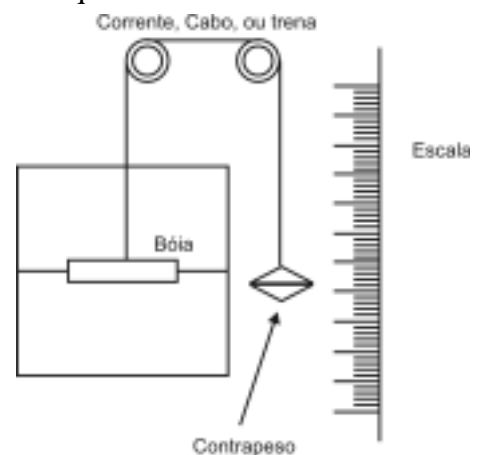
Consiste em uma régua graduada, de comprimento conveniente para sua introdução dentro do reservatório a ser medido.

A determinação do nível será efetuada através da leitura direta do comprimento molhado na régua pelo líquido.

Visores de Nível

Este medidor usa o princípio dos vasos comunicantes, o nível é observado por um visor de vidro especial, podendo haver uma escala graduada acompanhando o visor.

Esta medição é feita em tanques abertos e tanques fechados.

Bóia ou Flutuador

Consiste em uma bóia presa a um cabo cuja extremidade encontra-se ligada a um contrapeso. No contrapeso, está fixo um ponteiro que indicará diretamente o nível em uma escala. Esta medição é, normalmente, encontrada em tanques abertos.

7.2.2 Medição indireta de nível

Neste tipo de medição, o nível é medido indiretamente em função de grandezas físicas como: pressão, empuxo, radiação e propriedades elétricas.

Medição de Nível por Pressão Hidrostática (pressão diferencial)

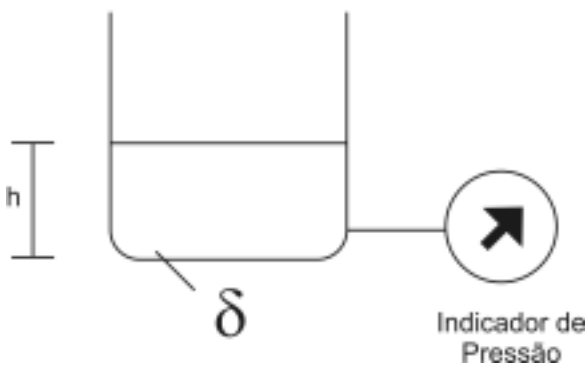
Neste tipo de medição, usa-se a pressão exercida pela altura da coluna líquida, para medir indiretamente o nível, como mostra o Teorema de Stevin:

$$P = h \cdot \delta$$

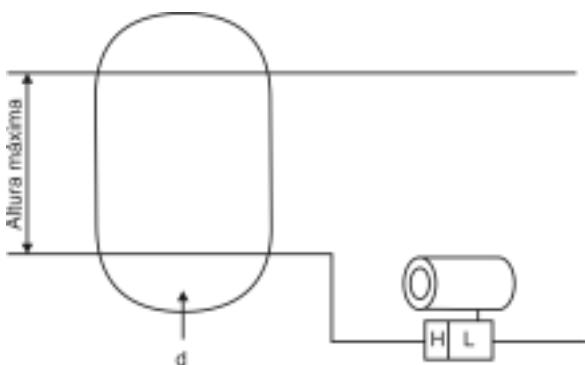
Onde:

P = Pressão em mmH_2O ou polegada H_2O

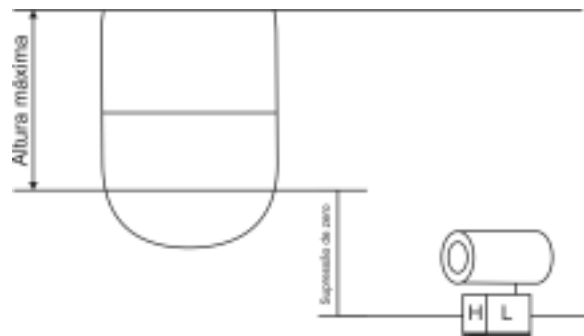
h = nível em mm ou em polegadas

δ = densidade relativa do líquido na temperatura ambiente.

Esta técnica permite que a medição seja feita independente do formato do tanque, seja ele aberto ou pressurizado.

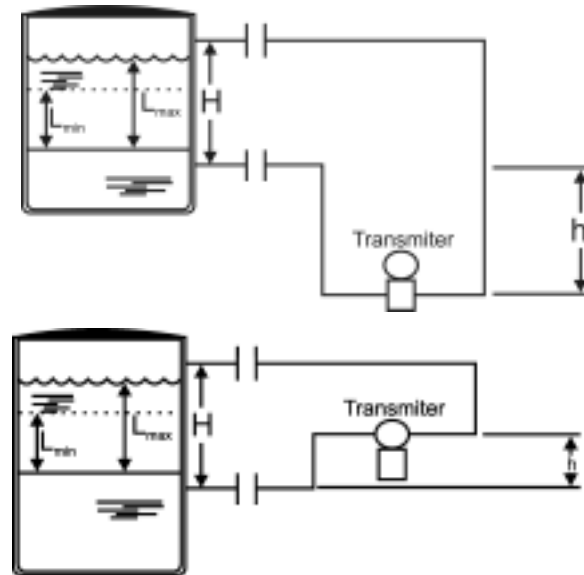
Medição por Pressão Diferencial em tanques Pressurizados

Neste tipo de medição, a tubulação do impulso da parte de baixo do tanque é conectada à câmara de alta pressão do transmissor de nível. A pressão atuante na câmara de alta é a soma da pressão exercida sobre a superfície do líquido e a pressão exercida pela coluna de líquido no fundo do reservatório. A câmara de baixa pressão do transmissor de nível é conectada na tubulação de impulso da parte de cima do tanque onde mede somente a pressão exercida sobre a superfície do líquido.

Supressão de Zero

Para maior facilidade de manutenção e acesso ao instrumento, muitas vezes o transmissor é instalado abaixo do tanque. Outras vezes, a falta de plataforma fixadora em torno de um tanque elevado resulta na instalação de um instrumento em um plano situado em nível inferior à tomada de alta pressão.

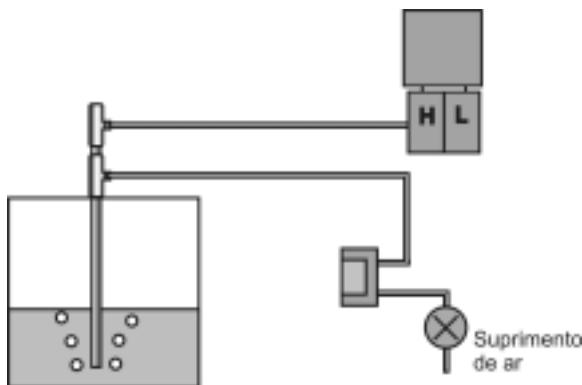
Em ambos os casos, uma coluna líquida será formada com altura do líquido dentro da tomada de impulso. Se o problema não for contornado, o transmissor indicaria um nível superior ao real.

Elevação de Zero

Quando o fluido do processo possuir alta viscosidade, ou condensar-se nas tubulações de impulso, ou ainda, no caso do fluido ser corrosivo, deve-se utilizar um sistema de selagem nas tubulações de impulso, das câmaras de baixa e alta pressão do transmissor de nível. Selam-se, então, ambas as tubulações de impulso, bem como as câmaras do instrumento.

Na Figura a seguir, é apresentado um sistema de medição de nível com selagem, onde deve ser feita a elevação, que consiste em se anular a pressão da coluna líquida na tubulação de impulso da câmara de baixa pressão do transmissor de nível.

Medição de Nível com Borbulhador

Com o sistema de borbulhador pode-se detectar o nível de líquidos viscosos, corrosivos, bem como de quaisquer líquidos à distância.

Neste sistema, necessita-se de um suprimento de ar ou gás e uma pressão ligeiramente superior à máxima pressão hidrostática exercida pelo líquido. Este valor, normalmente, é ajustado para aproximadamente 20% a mais que a máxima pressão hidrostática exercida pelo líquido. O sistema borbulhador engloba uma válvula agulha, um recipiente com líquido pelo qual o ar ou gás passarão e um indicador de pressão.

Ajusta-se a vazão de ar ou gás, de modo que se observe a formação de bolhas em pequenas quantidades. Um tubo levará esta vazão de ar ou gás até o fundo do vaso, tem-se, então, um borbulhamento bem sensível de ar ou gás no líquido a ser medido. Na tubulação pela qual fluirá o ar ou gás, instala-se um indicador de pressão que indicará um valor equivalente à pressão devido ao peso da coluna líquida. Nota-se que haverá condições de instalar o medidor à distância.

Medição de Nível por Empuxo

Baseia-se no princípio de Arquimedes: “todo corpo mergulhado em um fluido sofre a ação de uma força vertical dirigida de baixo para cima, igual ao peso do volume do fluido deslocado.”

Esta força exercida pelo fluido do corpo nele submerso ou flutuante é chamada de empuxo.

$$E = V \cdot \delta$$

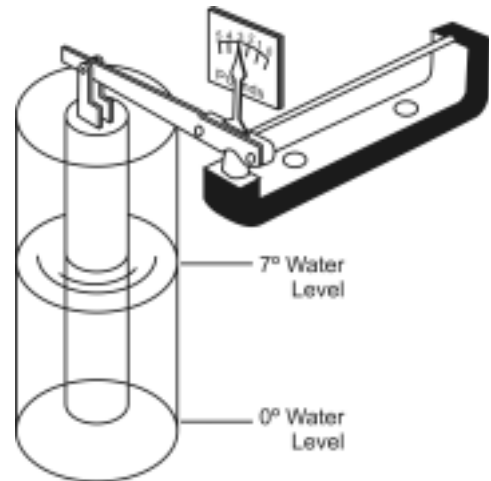
Onde:

E = empuxo

V = volume deslocado

δ = densidade ou peso específico do líquido

Baseado no princípio de Arquimedes usa-se um deslocador (displacer), que sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitindo para um indicador este movimento, por meio de um tubo de torque.

O medidor deve ter um dispositivo de ajuste para densidade do líquido, cujo nível está sendo medido, pois o empuxo varia com a densidade.

Através dessa técnica é possível medir o nível de interface entre dois líquidos não miscíveis.

Na indústria, muitas vezes, é necessário medir o nível da interface em um tanque contendo dois líquidos diferentes. Este fato ocorre em torres de destilação, torres de lavagem, decantadores, etc.

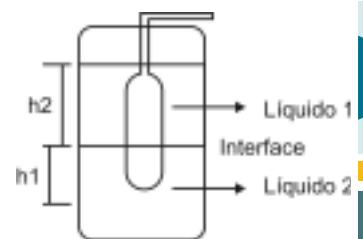
Um dos métodos mais utilizados para a medição da interface é através da variação do empuxo.

Considere-se um flutuador de forma cilíndrica mergulhado em dois líquidos com pesos específicos diferentes δ_1 e δ_2. Pode-se considerar que o empuxo aplicado no flutuador será a soma dos empuxos E_1 e E_2 aplicados ao cilindro, pelos líquidos de pesos específicos δ_1 e δ_2, respectivamente. O empuxo será dado por:

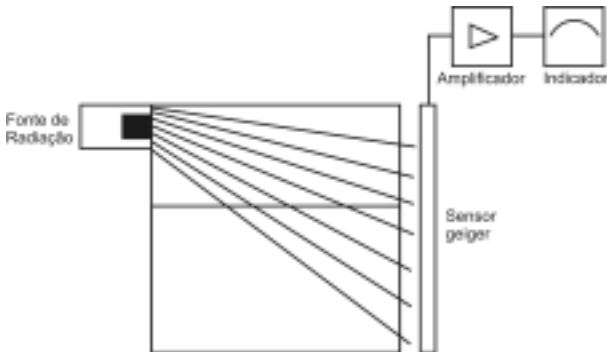
$$E_t = E_1 + E_2$$

Em que:

$$E_1 = V_1 \cdot \delta_1 \quad \text{e} \quad E_2 = V_2 \cdot \delta_2$$

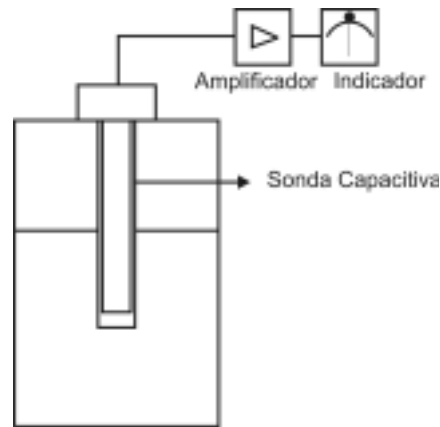
Assim, para diferentes valores de altura de interfaces, serão obtidas diferentes variações de empuxo.

Medição de Nível por Radiação

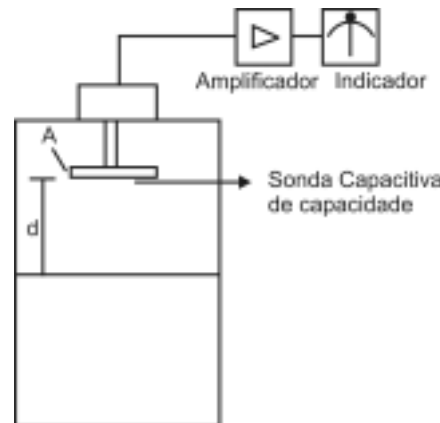
Os medidores que utilizam radiações nucleares distinguem-se pelo fato de serem completamente isentos do contato com os produtos que estão sendo medidos. Além disso, dispensando sondas ou outras técnicas que mantêm contato com sólidos ou líquidos tornam-se possível, em qualquer momento, realizar a manutenção desses medidores, sem a interferência ou mesmo a paralização do processo. Dessa forma, os medidores que utilizam radiações podem ser usados para indicação e controle de materiais de manuseio extremamente difícil e corrosivos, abrasivos, muito quentes, sob pressões elevadas ou de alta viscosidade.

O sistema de medição por raios gamas consiste em uma fonte emissora e um contador gyger, (que transforma a radiação Gama recebida em um sinal elétrico de corrente contínua) ambos montados verticalmente na lateral do tanque. Como a transmissão dos raios é inversamente proporcional a altura do líquido do tanque, a radiação dos raios é inversamente proporcional ao nível do líquido do tanque, já que o material bloquearia parte da energia emitida.

Medição de Nível por Capacitância

A capacitância é uma grandeza elétrica que existe entre duas superfícies condutoras isoladas entre si.

O medidor de nível capacitivo mede as capacidades do capacitor formado pelo eletrodo submergido no líquido em relação as paredes do tanque. A capacidade do conjunto depende do nível do líquido.

O elemento sensor, geralmente, é uma haste ou cabo flexível de metal. Em líquidos não condutores o eletrodo é isolado normalmente com teflon. À medida que o nível do tanque for aumentado, o valor da capacitância aumenta progressivamente.

A capacitância é convertida por um circuito eletrônico em uma corrente elétrica e este sinal é indicado em um medidor.

A medição de nível por capacitância também pode ser feita sem contato, através de sondas de proximidade. A sonda consiste em um disco compondo uma das placas do capacitor. A outra placa é a própria superfície do produto ou a base do tanque.

Medição de Nível por Ultra som

O ultra-som é uma onda sonora, cuja freqüência de oscilação é maior que aquela sensível pelo ouvido humano, isto é, acima de 20 Khz.

A geração ocorre quando uma força externa excita as moléculas de um meio elástico, e esta excitação é transferida de molécula à molécula do meio, com uma velocidade que depende da elasticidade e inércia das mesmas. A propagação do ultra-som depende portanto, do meio (sólido, líquido ou gasoso). Assim sendo, a velocidade do som é a base para a medição através da técnica de eco, usada nos dispositivos ultra-sônicos. As ondas de ultrasom são geradas e captadas pela excitação elétrica de materiais piezoelétricos. A característica marcante dos materiais piezoelétricos é a produção de uma freqüência quando uma tensão elétrica é aplicada. Assim, eles podem ser

usados como geradores de ulta-som, compondo, portanto, os transmissores.

Inversamente, quando se aplica uma força em um material piezoelétrico, ou seja, quando este recebe um sinal e freqüência, resulta o aparecimento de uma tensão elétrica em seu terminal. Nesta modalidade, o material piezoelétrico é usado como receptor do ultra-som.

Os dispositivos do tipo ultra-sônico podem ser usados tanto na detecção contínua de nível como na descontínua.

Os dispositivos destinados à detecção contínua de nível caracterizam-se, principalmente, pelo tipo de instalação, ou seja, os transdutores podem encontrar-se totalmente submersos no produto, ou instalados no topo do equipamento sem contato com o produto.

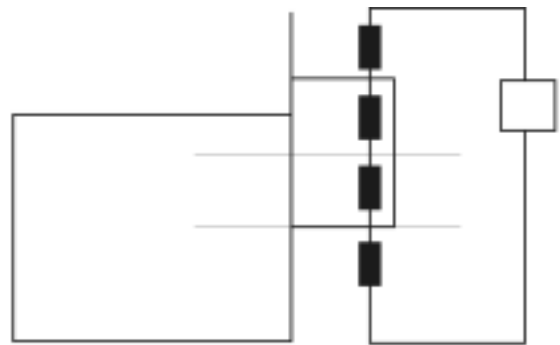
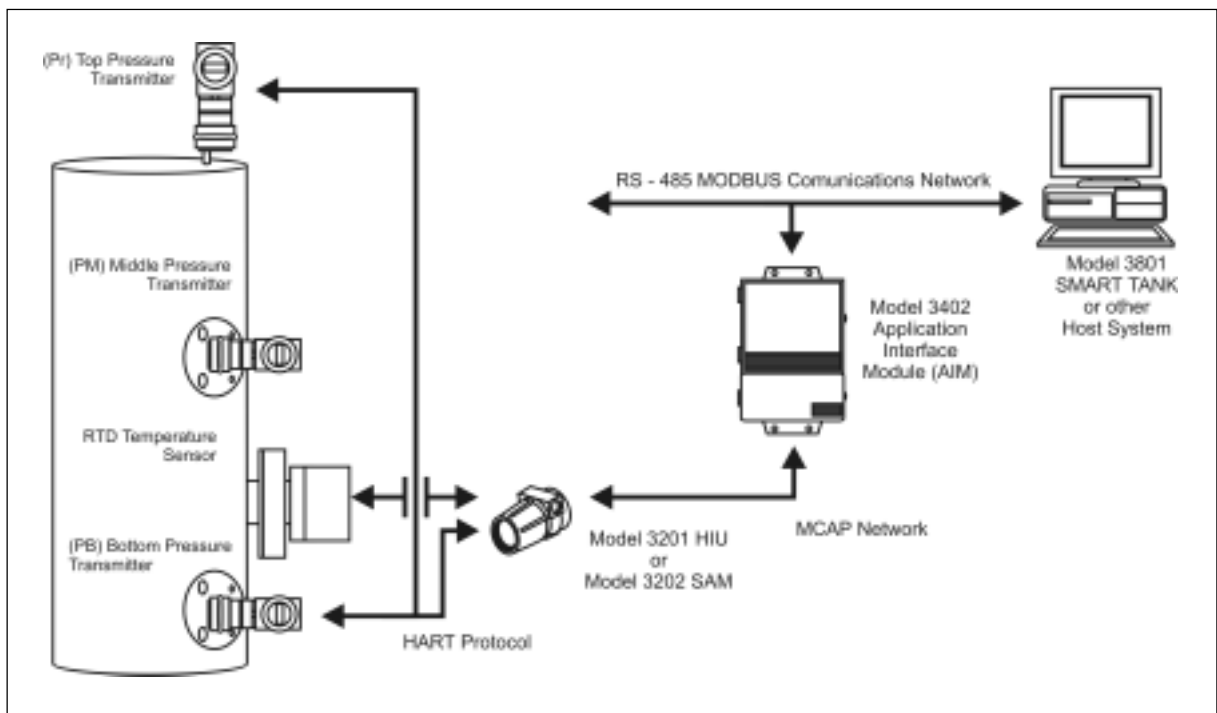
Medição de Nível por Radar

Possui uma antena cônica que emite impulsos eletromagnéticos de alta freqüência à superfície a ser detectada. A distância entre a antena e a superfície a ser medida será, então, calculada em função do tempo de atraso entre a emissão e a recepção do sinal.

Esta técnica pode ser aplicada com sucesso na medição de nível por ser imune a efeitos provocados por gases, pó, e espuma entre a superfície e o detector, porém possui um custo relativo alto.

7.2.3 Medição de Nível Descontínua

São empregados para fornecer indicação apenas quando o nível atinge certos pontos desejados, como por exemplo em sistemas de alarme de segurança de nível alto ou baixo.

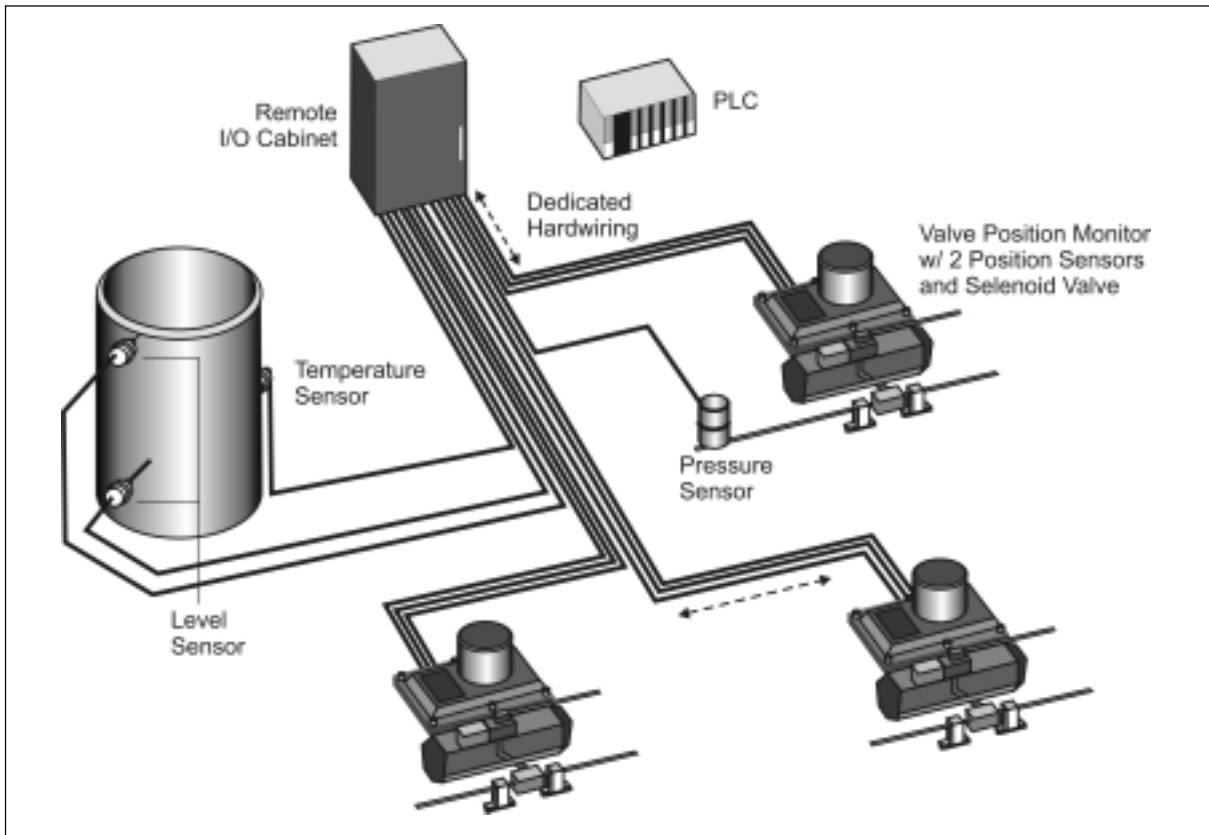
Nos líquidos que conduzem eletricidade, podem ser mergulhados eletrodos metálicos de comprimento diferente. Quando houver condução entre os eletrodos, tem-se a indicação de que o nível atingiu a altura do último eletrodo alcançado pelo líquido.

Medição de nível descontínua por condutividade.

Diversas técnicas podem ser utilizadas para medição descontínua, desde uma simples bóia acoplada a contatos elétricos até sensores eletrônicos do tipo capacitivo ou ultra-sônico, diferenciando-se pela sensibilidade, tipo de fluido, características operacionais, instalação e custo.

7.2.4 Medição e Nível de Sólidos

É necessário medir o nível dos sólidos, geralmente, em forma de pó ou grãos, em silos, alto-fornos, etc., pelos mesmos motivos da medição de nível dos líquidos. Esta medição é comumente feita por dispositivos eletomecânicos, colocando-se uma sonda sobre a carga ou conteúdo. O cabo da sonda movimenta um transdutor eletromecânico, que envia um sinal para um indicador, cuja escala é graduada para nível. Essa técnica, apesar de simples, tem como desvantagem a grande incidência de manutenção, tornando-a inviável em muitos casos.

Outros medidores, como os radioativos, capacitivos, ultrassônicos, radares e sistemas de pesagem com células de carga, podem ser utilizados com bastante eficiência e precisão, apesar de possuírem, em alguns casos, o custo elevado.

Atualmente, existe uma grande disponibilidade de tecnologias que podem ser aplicadas na medição e monitoração de nível.

Em algumas aplicações, cujo grau de risco é elevado, as normas específicas apontam para um sistema de intertravamento com sensores de posição, redundância no elemento secundário etc, como observado na figura abaixo.

Bibliografia

LIPTAK, B. G. – Instruments Engineers Handbook

CONSIDINE, Douglas M. – Encyclopedia of Instrumettion and Control

Catálogo CONAUT

Catálogo VEJA

Catálogo HONEYWELL

Catálogo KROHNE

Catálogo WESTLOCK

Autores:
Marcos Galli – Engenheiro Industrial Elétrico

Anotações

Medição de Temperatura 8

8.1 Introdução

O objetivo de se medir e controlar as diversas variáveis físicas em processos industriais é obter produtos de alta qualidade, com melhores condições de rendimento e segurança, a custos compatíveis com as necessidades do mercado consumidor.

Nos diversos segmentos de mercado, sejam eles químico, petroquímico, siderúrgico, cerâmico, farmacêutico, vidreiro, alimentício, papel e celulose, hidrelétrico nuclear entre outros, a monitoração da variável temperatura é fundamental para a obtenção do produto final especificado.

Termometria significa “Medição de Temperatura”. Eventualmente o termo Pirometria é também aplicado com o mesmo significado, porém, baseando-se na etimologia das palavras, podemos definir:

Pirometria: Medição de altas temperaturas, na faixa em que os efeitos de radiação térmica passam a se manifestar.

Criometria: Medição de baixas temperaturas, ou seja, próximas ao zero absoluto de tempeatura.

Termometria: Termo mais abrangente que incluiria tanto a Pirometria quanto a Criometria.

8.2 Temperatura e calor

Todas as substâncias são constituídas de moléculas, que se encontram em contínuo movimento. Quanto mais rápido o movimento das moléculas, mais quente apresenta-se o corpo e quanto, mais lento o movimento das moléculas, mais frio apresenta-se o corpo.

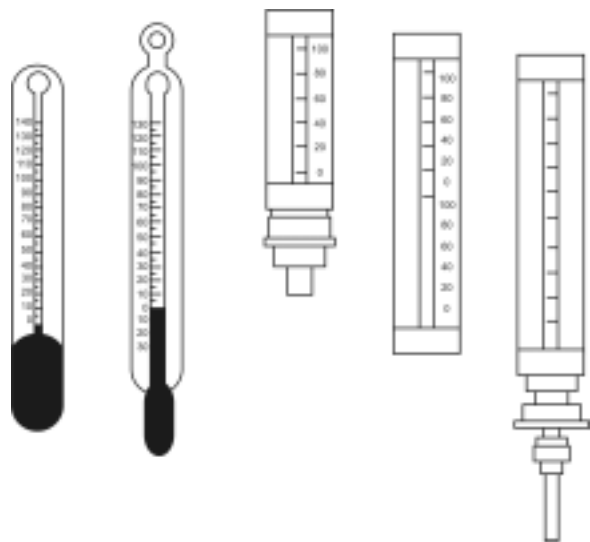
Então define-se temperatura como o grau de agitação térmica das moléculas. Na prática, a temperatura é representada em uma escala numérica, onde quanto maior o seu valor, maior é a energia cinética média dos átomos do corpo em questão.

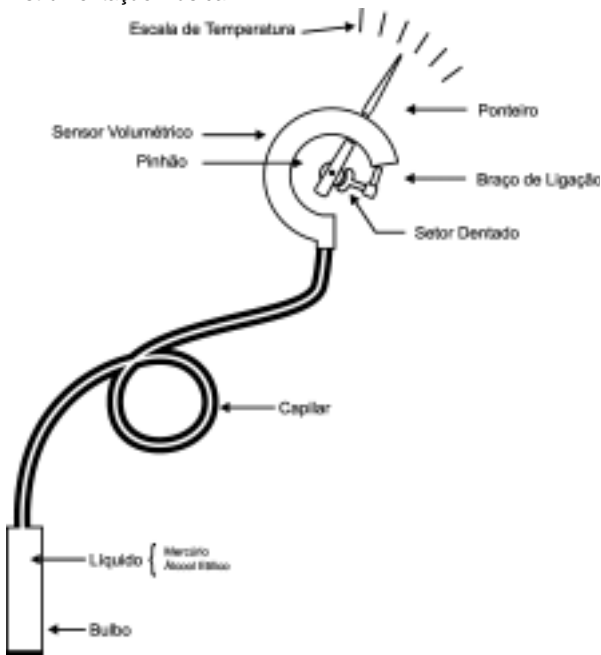
Outros conceitos que se confundem às vezes com o de temperatura são energia térmica e calor.

A energia térmica de um corpo é a somatória das energias cinéticas dos seus átomos, e além de depender da temperatura, depende também da massa e do tipo de substância.

Calor é energia em trânsito ou a forma de energia que é transferida através da fronteira de um sistema em virtude da diferença de temperatura.

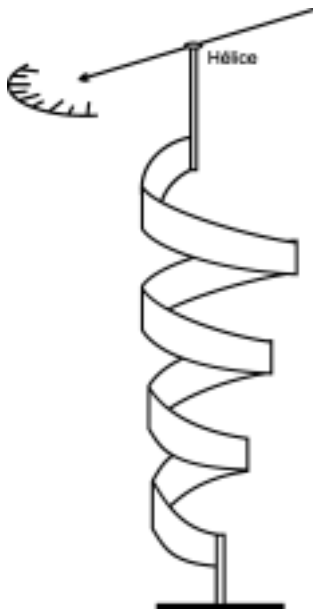
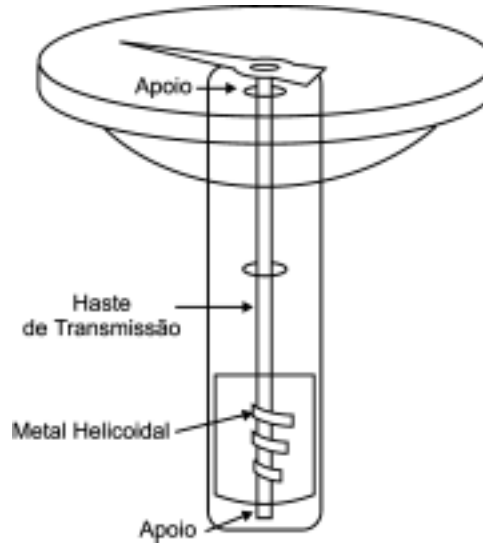
A literatura, geralmente, reconhece três meios distintos de transmissão de calor: condução, radiação e convecção.

Até o final do século XVI, quando foi desenvolvido o primeiro dispositivo para avaliar temperatura, os sentidos do nosso corpo foram os únicos elementos de que dispunham os homens para dizer se um certo corpo estava mais quente ou frio do que um outro, apesar da inadequação destes sentidos sob o ponto de vista científico.

Termômetros de dilatação de líquido em recipiente metálico.

Neste termômetro, o líquido preenche todo o recipiente e sob o efeito de um aumento de temperatura dilata-se, deformando um elemento extensível (sensor volumétrico).

O termômetro bimetálico consiste em duas lâminas de metais com coeficientes de dilatação diferentes, sobrepostas, formando uma só peça. Variando-se a temperatura do conjunto, observa-se um encurvamento que é proporcional a temperatura.

Na prática, a lâmina bimetálica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta bastante a sensibilidade.

O termômetro mais usado é o de lâmina helicoidal, e consiste em um tubo condutor de calor, no interior do qual é fixado um eixo, que, por sua vez, recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

Normalmente, usa-se o invar (aço com 64% Fe e 36% Ni) com baixo coeficiente de dilatação e o latão como metal de alto coeficiente de dilatação.

A faixa de trabalho dos termômetros bimetálicos vai aproximadamente de –50 a 800°C, sendo sua escala bastante linear. Possui exatidão na ordem de ± 1%.

8.2.1 Medição de temperatura com Termopar

Um termopar consiste de dois condutores metálicos, de natureza distinta, na forma de metais puros ou de ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo do qual se dá o nome de junta quente ou junta de medição. A outra extremidade dos fios é levada ao instrumento de medição de f.e.m. (força eletromotriz), fechando um circuito por onde flui a corrente.

O ponto onde os fios que formam o termopar se conectam ao instrumento de medição é chamado de junta fria ou de referência.

O aquecimento da junção de dois metais gera o aparecimento de uma f.e.m. (força eletromotriz). Este princípio conhecido por efeito Seebeck propiciou a utilização de termopares para a medição de temperatura. Nas aplicações práticas o termopar apresenta-se, normalmente, conforme a figura acima.

O sinal de f.e.m. gerado pelos gradientes de temperatura (DT) existente entre as juntas quente e fria, será de um modo geral indicado, registrado ou transmitido.

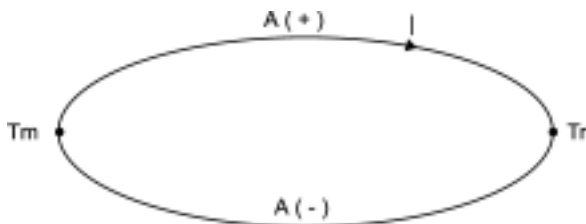
8.3 Efeitos termoelétricos

Quando dois metais ou semicondutores dissemilares são colocados e as junções mantidas a diferentes temperaturas, quatro fenômenos ocorrem simultaneamente: o efeito Seebeck, o efeito Peltier, o efeito Thompson e o efeito Volta.

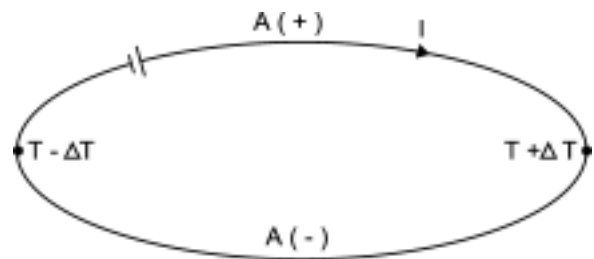
A aplicação científica e tecnológica dos efeitos termoelétricos é muito importante e suas utilizações no futuro são cada vez mais promissoras. Os estudos das propriedades termoelétricas dos semicondutores e dos metais levam, na prática, à aplicação dos processos de medições na geração de energia elétrica (bateria solar) e na produção de calor e frio. O controle de temperatura feito por pares termoelétricos é uma das importantes aplicações do efeito Seebeck.

Atualmente, busca-se o aproveitamento industrial do efeito de Peltier, em grande escala, para obtenção de calor ou frio no processo de climatização ambiente.

8.3.1 Efeito termoelético de Seebeck

O fenômeno da termoeletricidade foi descoberto em 1821 por T.J Seebeck quando ele notou que em um circuito fechado, formado por dois condutores diferentes A e B, ocorre uma circulação de corrente enquanto existir uma diferença de temperatura DT entre as suas junções. Denomina-se a junta de medição de Tm, e a outra, junta de referência de Tr. A existência de uma f.e.m. térmica AB no circuito é conhecida como efeito Seebeck. Quando a temperatura da junta de referência é mantida constate, verifica-se que a f.e.m. térmica é uma função da temperatura Tm da junção de teste. Este fato permite utilizar um par termoelétrico como um termômetro.

O efeito Seebeck produz-se pelo fato de que os elétrons livres de um metal difere de um condutor para outro e depende da temperatura. Quando dois condutores diferentes são colocados para formar duas junções e estas são mantidas a diferentes temperaturas, a difusão dos elétrons nas junções produz-se a ritmos diferentes.

8.3.2 Efeito termoelétrico de Peltier

Em 1834, Peltier descobriu que, dado um par termoelétrico com ambas as junções à mesma temperatura se , mediante uma bateria exterior, produz-se uma corrente no termopar, as temperaturas da junção variam enquanto quantidade não inteiramente devida ao efeito Joule. Esta variação adicional de temperatura é o efeito Peltier. O efeito Peltier produz-se tanto pela corrente proporcionada por uma bateria exterior como pelo próprio par termoelétrico.

O coeficiente Pelteir depende da temperatura e dos metais que formam uma junção, sendo independente da temperatura da outra junção. O calor Pletier é reversível. Quando se inverte o sentido da corrente, permanecendo constante o seu valor, o calor Peltier é o mesmo, porém em sentido oposto.

8.3.3 Efeito termoelétrico de Thomson

Em 1854, Thomson conclui, através das leis da termodinâmica, que a condução de calor, ao logo dos fios metálicos e um par termoelétrico, que não transporta corrente, origina uma distribuição uniforme de temperatura em cada fio.

Quando existe corrente, modifica-se em cada fio a distribuição de temperatura em uma quantidade não inteiramente devida ao efeito Joule. Essa variação adicional na distribuição da temperatura denomina-se efeito Thompson.

O efeito Thomson depende do metal de que é feito o fio e da temperatura média da pequena região considerada. Em certos metais há absorção de calor, quando uma corrente elétrica flui da parte fria para a parte quente do metal e que há geração de calor quando se inverte o sentido da corrente. Em outros metais, ocorre o oposto deste efeito, isto é, há liberação de calor quando uma corrente elétrica flui

da parte quente para a parte fria do metal. Conclui-se que, com a circulação de corrente ao longo de um fio condutor, a distribuição de temperatura neste condutor será modificada, tanto pelo calor dissipado por efeito Joule como pelo efeito Thomson.

8.3.4 Efeito termoelétrico de Volta

A experiência de Peltier pode ser explicada através do efeito Volta enunciado a seguir:

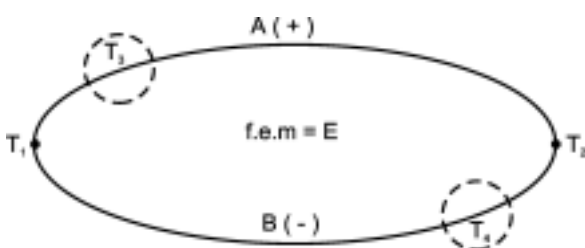
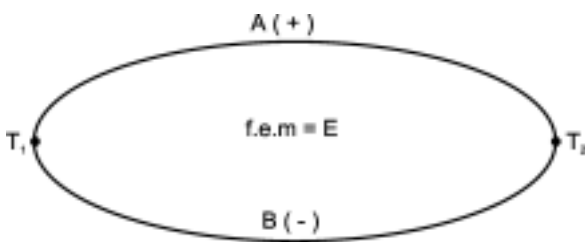
"Quando dois metais estão em contato a um equilíbrio térmico e elétrico, existe ente eles uma diferença e potencial que pode ser da ordem de Volts".

Esta diferença de potencial depende da temperatura e não pode ser medida diretamente.

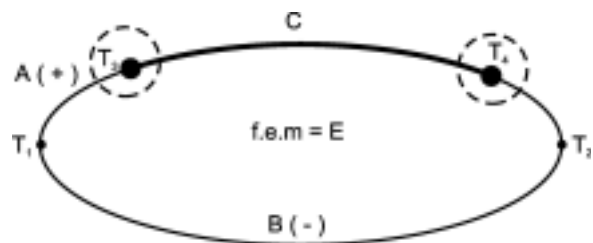
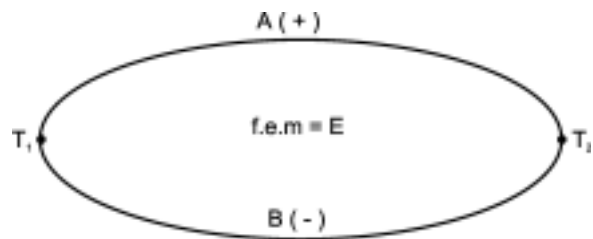
Leis Termoelétricas

Desde a descoberta dos efeitos termoelétricos, partiu-se da aplicação dos princípios da termodinâmica e enunciação das três leis que constituem a base da teoria termoelétrica nas medições de temperatura com termopares. Em síntese, estas leis, permitem a compreensão de todos os fenômenos que ocorrem na medida de temperatura com estes sensores.

Lei do circuito homogêneo

"A f.e.m. termal, desenvolvida em um circuito termoelétrico de dois metais diferentes, com suas junções expostas às temperaturas T1 e T2, é independente do gradiente de temperatura e de sua distribuição ao longo dos fios". Em outras palavras, a f.e.m. medida parece função única e exclusiva da composição química dos dois metais e das temperaturas existentes nas junções.

Um exemplo de aplicação prática desta lei é que podemos ter uma grande variação de temperatura em um ponto qualquer, ao longo dos fios dos termopares, que esta não influirá na f.e.m. produzida pela diferença de temperatura entre as juntas, portanto, pode-se fazer medidas de temperaturas em pontos bem definidos com os termopares, pois o importante, é a diferença de temperaturas entre as juntas.

Lei dos Metais

"A soma algébrica das f.e.m. termais em um circuito composto de um número qualquer de metais diferentes é zero, se todo o circuito estiver a mesma temperatura". Deduz-se daí que um circuito termoelétrico, composto de dois metais diferentes, a f.e.m. produzida não será alterada ao inserirmos, em qualquer ponto do circuito, um metal genérico, desde que as novas junções sejam mantidas a temperaturas iguais.

8.4 Medição de temperatura por termoresistência

Os métodos de utilização de resistências para medição de temperaturas iniciaram-se ao redor de 1835, com Faraday, porém só houve condições destas serem utilizadas em processos industriais a partir de 1925.

Esses sensores adquiriram espaço nos processos industriais por suas condições de alta estabilidade mecânica e térmica, resistência à contaminação, baixo índice de desvio pelo envelhecimento e tempo de uso.

Devido a estas características, esse sensor é padrão internacional para a medição de temperatura na faixa de –270 °C a 660 °C, em seu modelo e laboratório.

8.4.1 Princípio de Funcionamento

Os bulbos de resistência são sensores que se baseiam no princípio de variação e resistência em função da temperatura. Os materiais mais utilizados para a fabricação destes tipos de sensores são platina, cobre ou níquel, metais que apresentam características de:

a) alta resistividade, permitindo assim uma melhor sensibilidade do sensor,

b) ter alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura,

c) ter rigidez e ductilidade para ser transformado em fios finos.

A equação que rege o fenômeno é a seguinte:

Para faixa de –200 a 0°C:

$$R_t = R_0 \,.\, [1 + A \,.\, T + B \,.\, T^2 + C \,.\, T^3 \,.\, (T - 100)]$$

Para faixa de 0 a 850 °C:

$$R_t = R_0 \,.\, [1 + A \;\; T + B \,.\, T^2]$$

Onde:

R_t = resistência na temperatura T (Ω)

R_0 = resistência a 0°C (Ω)

T = temperatura (°C)

A . B . C = coeficientes inerentes do material empregado

$A = 3{,}90802 \,.\, 10^{-3}$

$B = -5{,}\ 802.10^{-7}$

$C = -4{,}2735 \,.\, 10^{-12}$

O número que expressa a variação de resistência em função da temperatura é chamado de alfa (α) e se relaciona da seguinte forma:

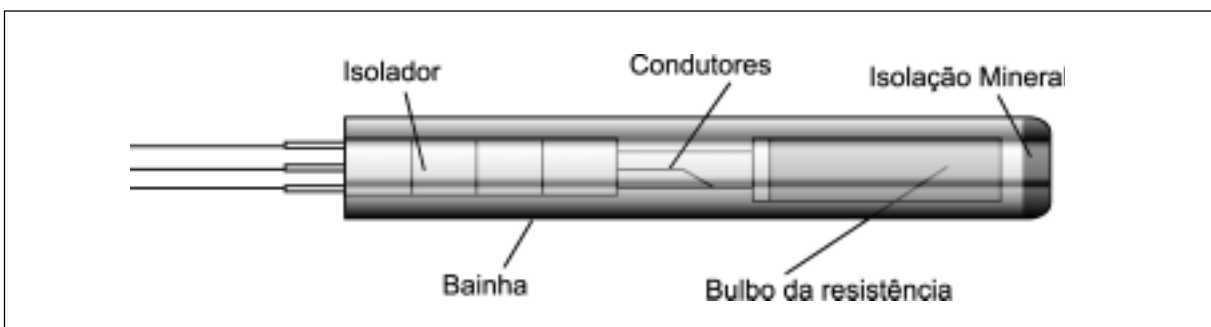
$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \,.\, R_0}$$

8.4.2 Características da termo-resistência de platina

As termorresistências Pt – 100 são as mais utilizadas industrialmente, devido à sua grande estabilidade, larga faixa de utilização e alta precisão. Devido à alta estabilidade das termorresistências de platina, as mesmas são utilizadas como padrão de temperatura na faixa de –270°C a 660°C. A estabilidade é um fator de grande importância na indústria, pois é a capacidade do sensor manter e reproduzir suas características (resistência – temperatura) dentro da faixa específica de operação.

Outro fator importante num sensor Pt –100 é a repetibilidade, que é a característica de confiabilidade da termorresistência. Repetibilidade deve ser medida com leitura de temperaturas consecutivas, verificando-se a variação encontrada quando de medição novamente na mesma temperatura.

O tempo de resposta é importante em aplicações onde a temperatura do meio em que se realiza a medição está sujeito a mudanças bruscas.

Considera-se constante de tempo como tempo necessário para o sensor reagir a uma mudança de temperatura e atingir 63,2% da variação da temperatura.

Na montagem tipo isolação mineral, tem-se o sensor montado em um tubo metálico com uma extremidade fechada e preenchido todos os espaços com óxido de magnésio, permitindo uma boa troca térmica e protegendo o sensor de choques mecânicos. A ligação do bulbo é feita com fios de cobre, prata ou níquel isolados entre si, sendo a extremidade aberta, selada com resina epóxi, vedando o sensor do ambiente em que vai atuar.

Este tipo de montagem permite a redução do diâmetro e apresenta rápida velocidade e resposta.

Vantagens:

a) Possuem maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores;

b) Com ligação adequada, não existe limitação para distância de operação;

c) Dispensam utilização de fiação especial para ligação;

d) Se adequadamente protegidos, permitem utilização em qualquer ambiente;

e) Têm boas características de reprodutibilidade;

f) Em alguns casos, substituem o termopar com grande vantagem.

Desvantagens:

a) São mais caras do que os sensores utilizados nessa mesma faixa;

b) Deterioram-se com mais facilidade, caso haja excesso na sua temperatura máxima de utilização;

c) Temperatura máxima de utilização 630°C;

d) É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura equilibrada para indicar corretamente;

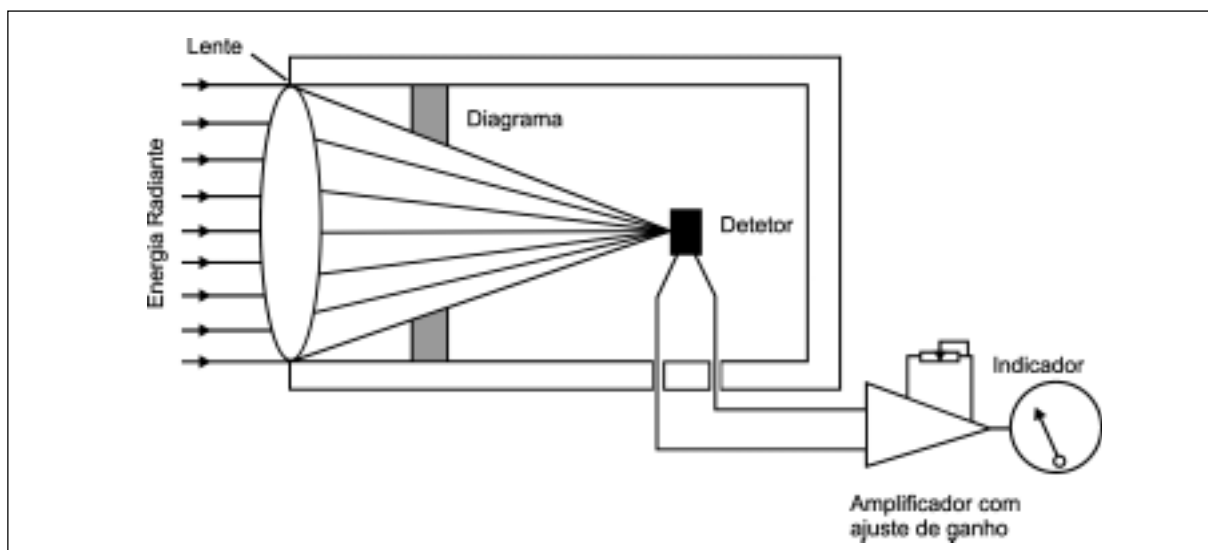
e) Alto tempo de resposta.

8.4.3 Radiômetro ou Pirômetro de radiação

Os radiômetros (ou pirômetros de radiação) operam, essencialmente, segundo a lei de Stefan-Boltzmann. São os sistemas mais simples, pois neles a radiação é coletada por um arranjo óptico fixo e dirigida a um detetor do tipo termopilha (associação em série – ver figura abaixo) ou do tipo semicondutor nos mais modernos, onde gera um sinal elétrico no caso da termopilha ou altera o sinal elétrico no caso do semicondutor.

Como não possuem mecanismo de varredura próprio, o deslocamento do campo de visão instantâneo é realizado pela movimentação do instrumento como um todo. Os radiômetros são, em geral, portáteis, mas podem ser empregados também no controle de processos a partir de montagens mecânicas, fixas ou móveis.

Graças à utilização de microprocessadores, os resultados das medições podem ser memorizadas para o cálculo de temperatura e seleção de valores.

A apresentação dos resultados é, normalmente, feita través de mostradores analógicos e digitais, podendo ainda ser impressa em papel ou gravada em fita magnética para posterior análise. Alguns radiômetros são diretamente conectados com unidades de controle ou registradores através de interface analógica/ digital.

Referências Bibliográficas

DIKE, Paul II – Temperature Measurements with Rayotubes – Leeds & Northrup CO. (monografia).

ECKMAN, Donald P. – Industrial Instrumentation – John Willey.

MILLER, J. T – The Revised Course in Industrial Instument Technology Instrument.

Analisadores Industriais

9

9.1 Introdução

Os sistemas de análise de gases industriais englobam, geralmente, os seguintes elementos:

9.2 Instrumentos de análise ou analisador

Equipamento relativamente sofisticado, de operação automática e independente, que tem a finalidade de medir uma ou mais característica de uma amostra do processo que por ele fluem.

9.3 Sistema de amostragem

Equipamento pouco sofisticado de operação automática, com a finalidade de retirar continuamente do processo, amostras, enviando-as, após preparação, ao analisador. Os analisadores são constituídos, geralmente, de modo a receberem uma amostra dentro de certas condições padronizadas de pressão, temperatura, umidade, poeira e corrosividade.

As condições do gás, dentro do processo, fogem, geralmente, dos padrões estabelecidos para o analisador.

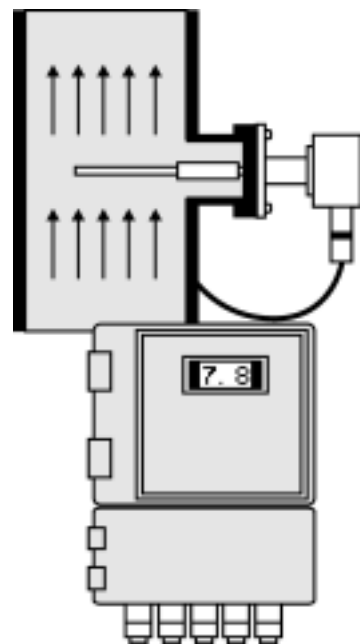
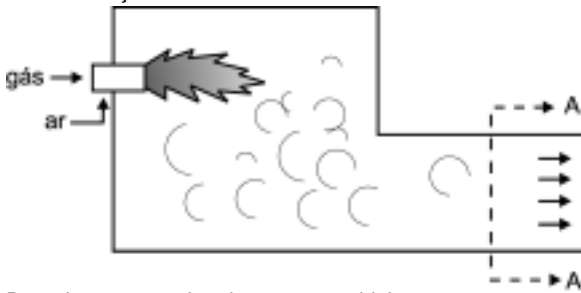
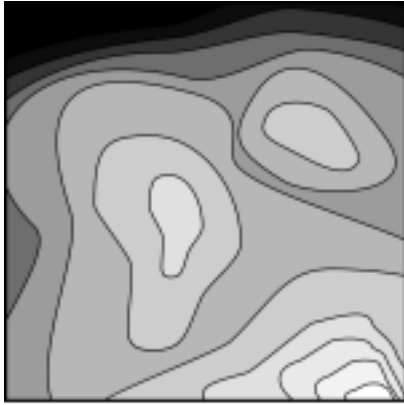
O sistema de amostragem age como elo de ligação entre o processo e o analisador, transformando uma amostra, inicialmente imprópria para análise, em uma amostra representativa e perfeitamente mensurável.

Devido à infinidade de processos existentes nas indústrias, existe, conseqüentemente, uma variedade de sistemas de amostragem, cada qual adaptada às condições peculiares da amostra a ser analisada.

Normalmente, existe uma tendência de relegar a um plano secundário de importância, o sistema de amostragem, durante a instalação do analisador. Este fato implica na existência de uma série de problemas que são atribuídas aos analisadores e, na verdade, são provenientes da aplicação inadequada do sistema de amostragem.

O sucesso da operação de um sistema de análise, no seu todo, está na operação adequada e perfeita do sistema de amostragem e do analisador. O sistema de amostragem deve fornecer continuamente ao analisador, uma amostra limpa e representativa, no tocante as características a serem analisadas.

9.3.1 Captação

A captação de uma amostra representativa é um fator fundamental na precisão geral da medição. A expressão "amostra representativa", refere-se a característica em medição, como a concentração de um componente, a densidade, viscosidade, capacidade, etc. As características não analisadas podem ser alteradas, desde que não afetem a variável medida.

O problema principal de captação de amostra aparece nos processos em que existe heterogeneidade com relação ao elemento em análise. É o caso da medição do oxigênio residual nas chaminés, ou de outros gases queimados nos processos de combustão. A Figura a seguir, mostra um corte efetuado em um duto de gases queimados de uma caldeira. Observam-se as diferentes concentrações de oxigênio, de acordo com o local considerado.

Duto de gases queimado em uma caldeira.

Seção A - A

Estas diferenças são provocadas, principalmente, pelas baixas velocidades existentes no interior do duto, permitindo a estratificação do gás junto às paredes, onde as velocidades atingem valores muito baixos. As diferenças de densidade e entrada de ar também contribuem para a heterogenização do fluxo gasoso.

A captação de uma amostra representativa, nestas condições, e bastante difícil. A solução mais simples seria localizar, no processo, um ponto onde houvesse uma homogeneização natural provocada por algum elemento interno, como um ventilador, válvula de controle, placa de orifício, etc.

A solução ideal, sob o ponto de vista técnico é o sistema de amostragem múltipla, que consiste em retirar do processo várias amostras em pontos diferentes e promover um mistura homogênea entre elas, de forma a obter uma média aproximada, das condições do processo.

9.4 Funções de um sistema de amostragem

Um sistema de amostragem deve, geralmente, cumprir as seguintes funções:

a) Captar, dentro do processo, uma amostra que seja representativa.

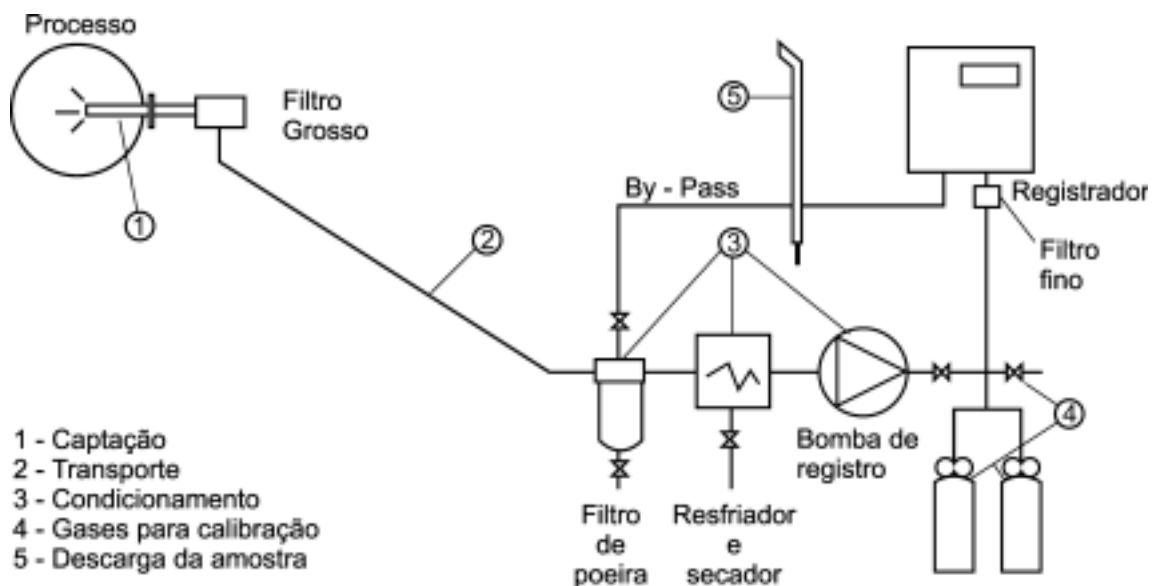
b) Transportar rapidamente a amostra, do ponto de coleta ao analisador.

c) Permitir a entrada de gases-padrão para aferição e pontos de coleta de amostra para análise externa.

d) Transportar a amostra do analisador para o ponto de descarga.

e) Adequar a amostra as condições de temperatura, pressão, umidade, corrosividade e concentração de poeira e de qualquer outra variável para a qual o analisador foi projetado.

A Figura seguinte representa esquematicamente as funções abaixo relacionadas.

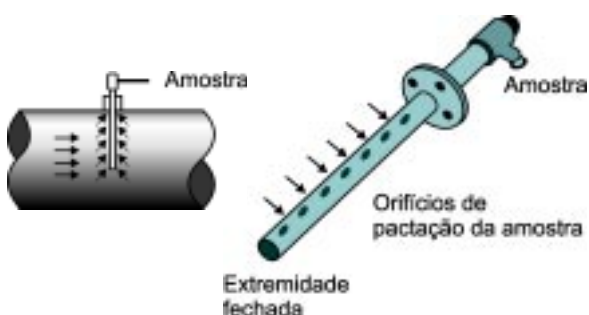
Sistema de amostragem.

9.4.1 Captação de Amostra

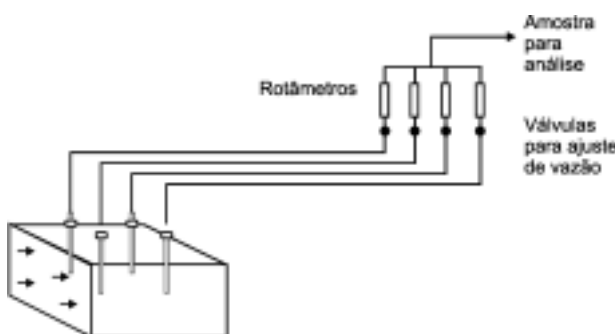
O sistema de captação da amostra, no interior do processo, deve satisfazer algumas condições básicas:

a) Retirar do processo uma mostra que representa, realmente, as condições médias do componente ou característica a ser analisada.

b) Promover um precondicionamento da amostra, a fim de proteger o sistema de transporte da mesma, ao analisador.

O sistema de amostragem múltipla pode ser executado de duas maneiras:

a) Por meio de uma única sonda que possui vários pontos de captação (Figura abaixo).

Sonda de captação múltipla.

Este sistema possui, como vantagem, a simplicidade de construção. Sua desvantagem está na falta de controle sobre as vazões de entrada em cada orifício, o que comprometerá a média final. (Figura abaixo).

Sistema de captação de sondas múltiplas.

A amostra é captada em dois ou mais pontos, individualmente, e misturada em um sistema que permite medir a vazão de cada sonda. Apesar de mais complexo, este processos de captação de amostra fornece ao analisador um gás, com características próximas às da média existente no processo, deve-se ter o cuidado com impurezas nas amostras que venham a obstruir os medidores de vazão ou válvulas.

9.5 Transporte de amostra

A amostra captada pela sonda, deve ser transportada por meio de tubos até o analisador, sem sofrer alteração na característica a ser analisada.

A distância entre o ponto de amostragem e o analisador deve ser o menor possível, de modo a reduzir o tempo de resposta do instrumento a um mínimo. Normalmente, é transportada uma quantidade de amostra superior às necessidades do analisador a fim de diminuir o tempo de resposta. O excesso é desviado para a atmosfera, próxima ao analisador.

O diâmetro da linha deve ser escolhido de modo a não introduzir grandes perdas de carga e reduzir o volume a um mínimo. Os valores usuais estão compreendidos entre 1/4" e 1/2".

O material da linha deve ser compatível com a temperatura, a pressão e corrosividade da amostra, além de suportar as condições externas ao longo de seu percurso. O aço inoxidável tipo 316 é o material mais usado, sendo, também, utilizados outros materiais como: cobre, aço carbono galvanizado e PVC. A linha de amostragem deve se estanque, a fim de evitar vazamentos ou infiltrações de ar, no caso de baixas pressões.

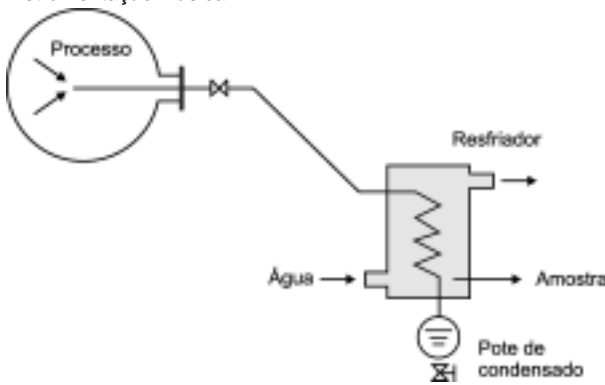
9.5.1 Temperatura

O condicionamento da temperatura é dos mais fáceis. Por meio de aquecedores ou resfriadores de operação simples, consegue-se manter esta variável, dentro da faixa requisitada pelo analisador.

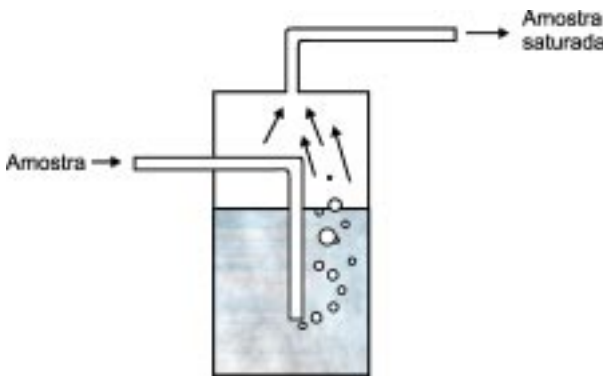
O analisador possui, normalmente, um sistema de aquecimento interno, que mantém a célula de análise e amostra, em uma temperatura constante e acima da do ambiente. Os valores habituais variam entre 40 e 70°C.

Amostras com temperaturas entre 0 – 40°C, geralmente, não interferem na operação do analisador.

Quando a amostra apresenta-se com temperatura elevada, a própria sonda a reduz ao nível da temperatura do ambiente, através de refrigeração interna com água ou com “spray”, também de água, injetado diretamente na amostra.

Caso a amostra seja captada sem refrigeração, a própria linha de transporte encarrega-se de reduzir a temperatura a um nível adequado. Pode ser usado, também, um resfriador com água, em um ponto qualquer entre a captação e o analisador (Figura a seguir).

Quando a amostra apresenta-se com temperatura baixa em relação à faixa de analisador o que é raro acontecer nas indústrias, podem ser usados aquecedores elétricos ou a vapor, caso a linha de amostragem não seja suficiente para elevar a temperatura dentro da faixa ideal.

Amostras secas

As amostras com ponto de orvalho inferior a temperatura ambiente, não requerem nenhum condicionamento prévio. Alguns analisadores, entretanto, saturam a amostra da análise, a fim de fixar esta variável. A figura abaixo mostra um saturador de amostra.

A saturação é conseguida por meio de borbulhamento do gás, na água destilada. Se a temperatura do saturador permanecer constante, o teor umidade será fixo também.

Amostras úmidas

As amostras, com ponto de orvalho superior a temperatura ambiente, causam transtornos, devido às condensações ao longo da linha de transporte, nos filtros e, eventualmente, no próprio analisador. Estas condensações interferem na movimentação da amostra, causando, inclusive, entupimento no sistema e danos no analisador.

A umidade pode ser reduzida por meios físicos ou químicos:

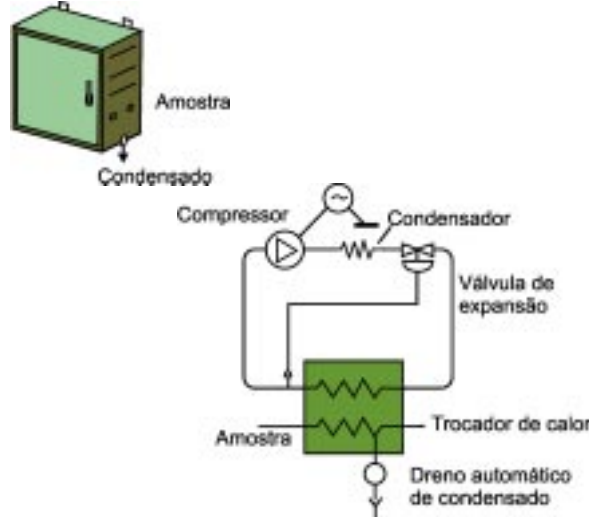
Secadores por processos físicos

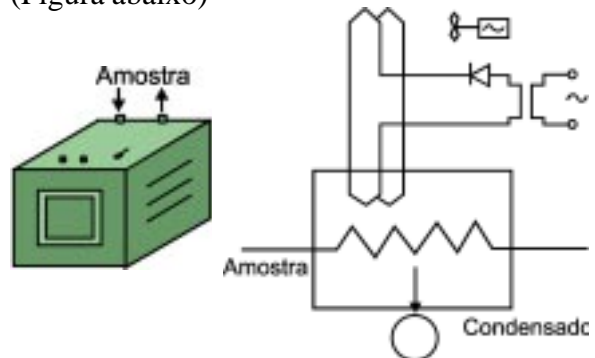
São os resfriadores de gás e filtros de adsorção:

a) Resfriadores de gás:
Promovem um abaixamento na temperatura do gás até cerca de 5°C, condensando, desta forma, uma quantidade de água equivalente entre as umidades absolutas nas temperaturas de entrada e saída.

Este resfriamento pode ser feito de vários modos:

Refrigerador de compressor

O gás é refrigerado por meio da evaporação de um fluido do tipo “FREON”, em um trocador de calor. O ciclo é mantido por meio de um compressor acionado por um motor elétrico.

Refrigerador a efeito Peltier

O efeito Peltier é o inverso do efeito “SEEBECK”, que rege o funcionamento dos termopares. Se no circuito formado por dois metais diferentes for aplicada uma fonte de tensão contínua, circula uma corrente, que provocara o aquecimento de uma das junções e o resfriamento da outra. Dissipando-se o calor gerado na junta quente, a junta fria pode ser utilizada para abaixar a temperatura do gás. (Figura abaixo)

Refrigerador de amostra a efeito Peltier.

Nota:

Normalmente, um abaixamento na temperatura do gás, na ordem de 5°C, em relação a ambiente, é suficiente para evitar condensações. Se existir algum fluido, água, por exemplo, com temperatura nesta faixa, basta um trocador de calor para se obter o resfriamento necessário.

Refrigerador a efeito Vortex

O ar comprimido, ao ser introduzido tangencialmente no interior de uma câmara cilíndrica, cria regiões de temperatura diferentes, devido ao efeito de turbilhamento ou "VORTEX" gerado pelo movimento do ar. Na superfície da câmara, a temperatura se eleva enquanto que na região central ocorre um abaixamento de temperatura, a um valor entre 1 e 5°C. (Figura abaixo).

9.5.2 Filtro de adsorção

A adsorção é um fenômeno que consiste na condensação da área superficial de algumas substâncias especiais.

O filtro de adsorção consiste em uma câmara, geralmente de forma cilíndrica, cheia de material absorvente de umidade. O ponto de orvalho de um vapor, em presença destas substâncias, é bem inferior ao existente em presença do líquido do próprio vapor (Figura abaixo).

Secador por absorção.

As substâncias mais usadas são:

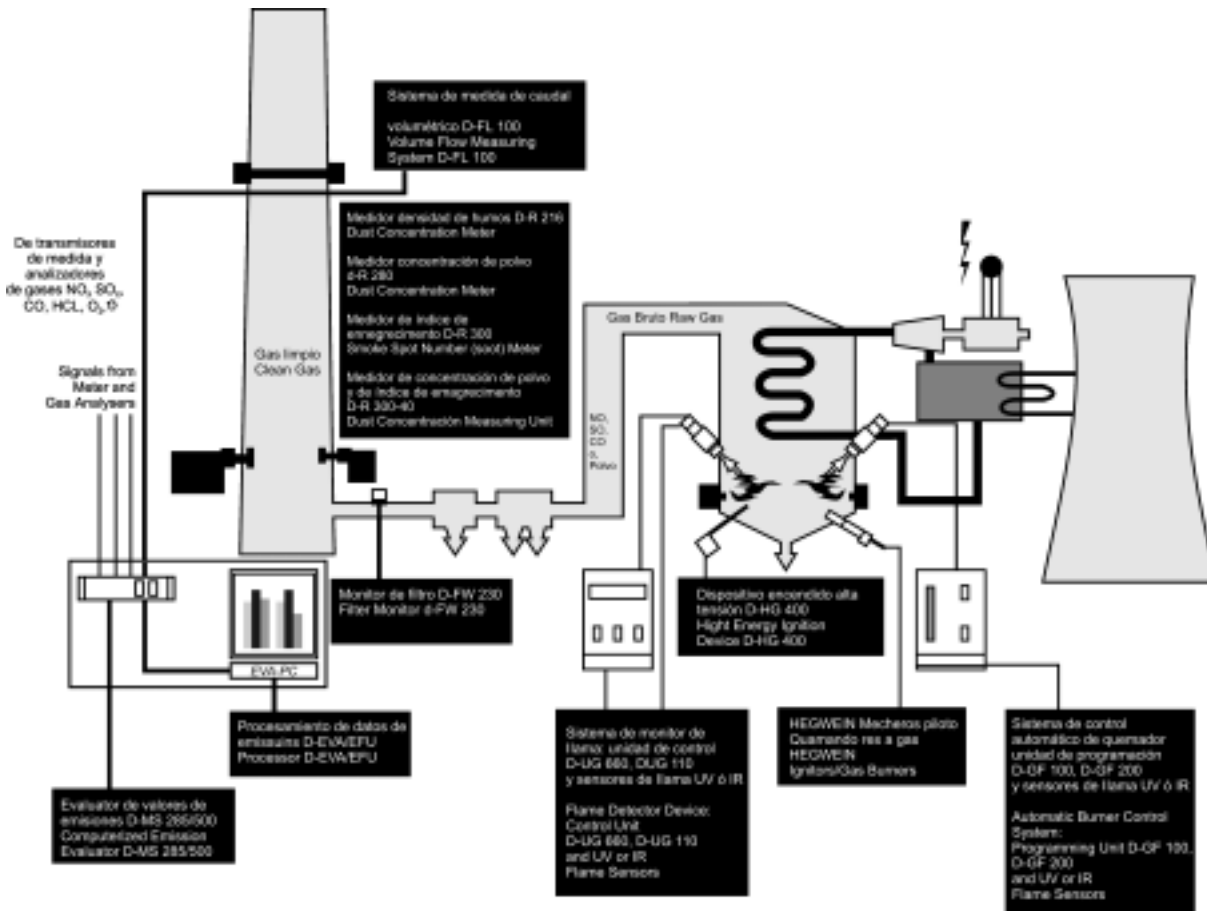
– Alumina ativada;
– Sílica gel.

Este tipo de secagem pode alcançar valores muito baixos de umidade do gás, mas apresenta os seguintes inconvenientes:

– Pode absorver outros componentes da amostra como CO_2 e SO_2 apresentando, desta forma, um efeito de separação cromatográfica entre os componentes da amostra.
– Necessita de regeneração periódica, a fim de eliminar a água acumulada.

Anotações

Instrumentação Analítica 10

10.1 Analisadores de Gases Industriais

10.2 Analisadores de Gases

10.2.1 Analisadores de Gases por Condutibilidade Térmica

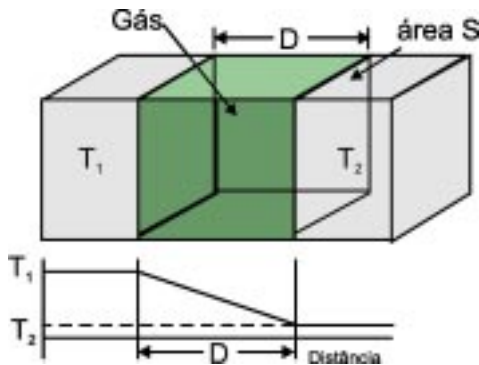
O analisador por condutibilidade térmica é um instrumento analítico industrial, que permite determinar a concentração de um gás em uma mistura gasosa.

A condutibilidade térmica de um gás é uma grandeza física específica dele. De modo que, quando uma mistura gasosa for composta de dois componentes, pode-se conhecer a concentração de cada um dos componentes através dessa propriedade.

A idéia de usar a condutibilidade térmica dos gases para fins de determinação de um componente em uma mistura foi sugerida, pela primeira vez, em 1880, por LEON SOMZEE. Entretanto, o primeiro instrumento prático só foi construído em 1908 pelo físico KOEPSA. Este instrumento determinava a concentração do hidrogênio em uma mistura gasosa. A partir desta data, foram desenvolvidos vários tipos de analisadores baseados neste princípio, que são atualmente usados largamente para medição e controle em processos industriais. Esta freqüência deve-se, principalmente, à sua simplicidade de operação que resulta em baixo preço e alta confiabilidade operacional.

Condutibilidade Térmica dos gases

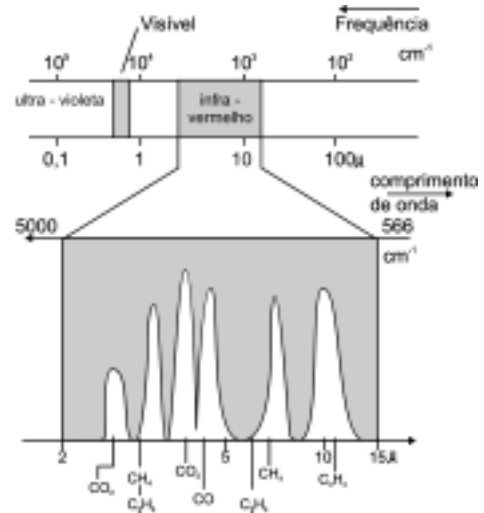
Conceito

A Figura abaixo representa um cubo cheio de gás, tendo duas superfícies opostas mantidas em temperaturas diferentes.

A quantidade de calor, Q, que atravessa o cubo na unidade de tempo T, entre as duas superfícies, depende dos seguintes fatores:

- diferença de temperatura entre as duas superfícies: $t_1 - t_2$;
- áreas das superfícies S;
- distância entre as superfícies – D;
- condutibilidade térmica do gás – K.

10.3 Analisadores por absorção de raios infravermelhos

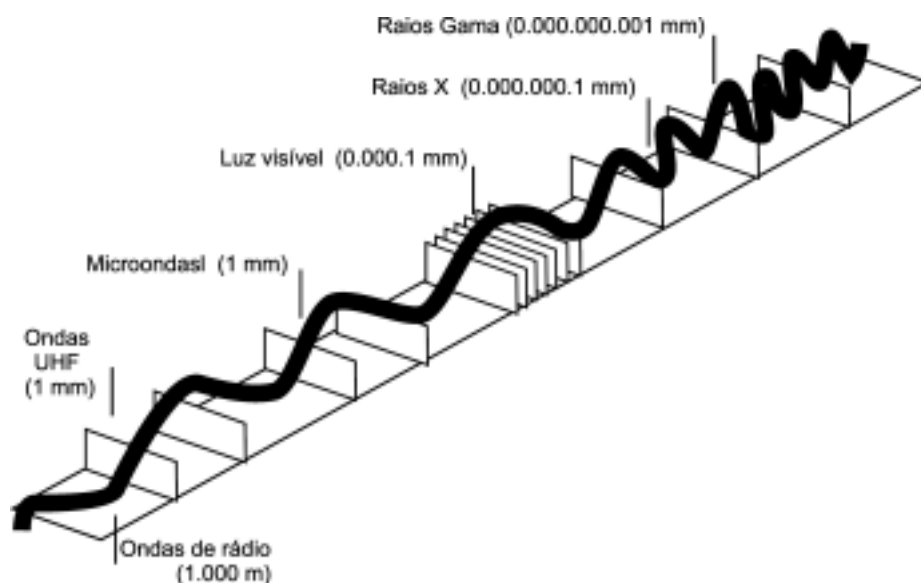
O analisador de infravermelho industrial é um instrumento analítico, que permite determinar, quantitativamente, em uma mistura de dois ou mais gases, um dos componentes.

A análise dos gases pelo método de absorção de raios infravermelhos (doravante será designado apenas por infravermelho), utiliza o princípio de que as moléculas de um determinado gás absorvem o raio infravermelho, conforme Figura abaixo e analisa continuamente a variação da concentração de um componente específico de uma mistura gasosa.

Espectro de absorção de infravermelho de um gás.

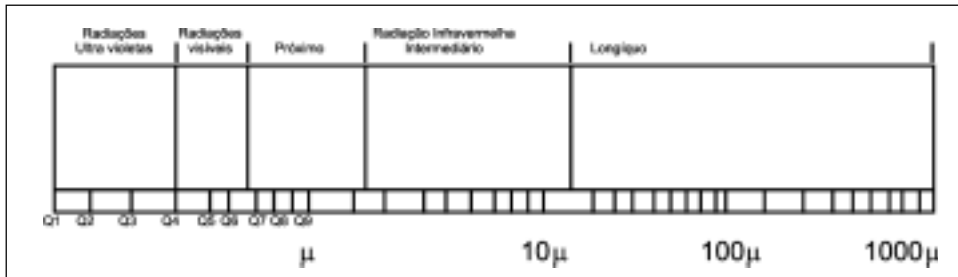
O princípio de medição é específico para o gás a ser analisado, isto é, o instrumento reagirá somente quando houver na amostra este gás.

10.3.1 Teoria de funcionamento

Infravermelho

O infravermelho corresponde à região do espectro eletromagnético compreendido entre os comprimentos de onda de 0,8 μm a 1000 μm, que se situa entre radiações luminosas e as microondas, conforme mostrado na Figura abaixo.

Em virtude da amplitude do intervalo coberto pelo infravermelho, suas propriedades e principalmente, o modo de interagir com a matéria, muda sensivelmente ao longo de toda a faixa, isto levou à subdivisão do intervalo em três partes:

- **Infravermelho próximo**: de 0,8 µm a 1,5 µm, com propriedades similares a da luz.
- **Infravermelho intermediário**: de 1,5 µm a 15 µm, faixa esta, onde opera a maioria dos analisadores industriais.
- **Infravermelho longínquo**: de 15 µm a 100 µm, de aplicação bastante especializada.

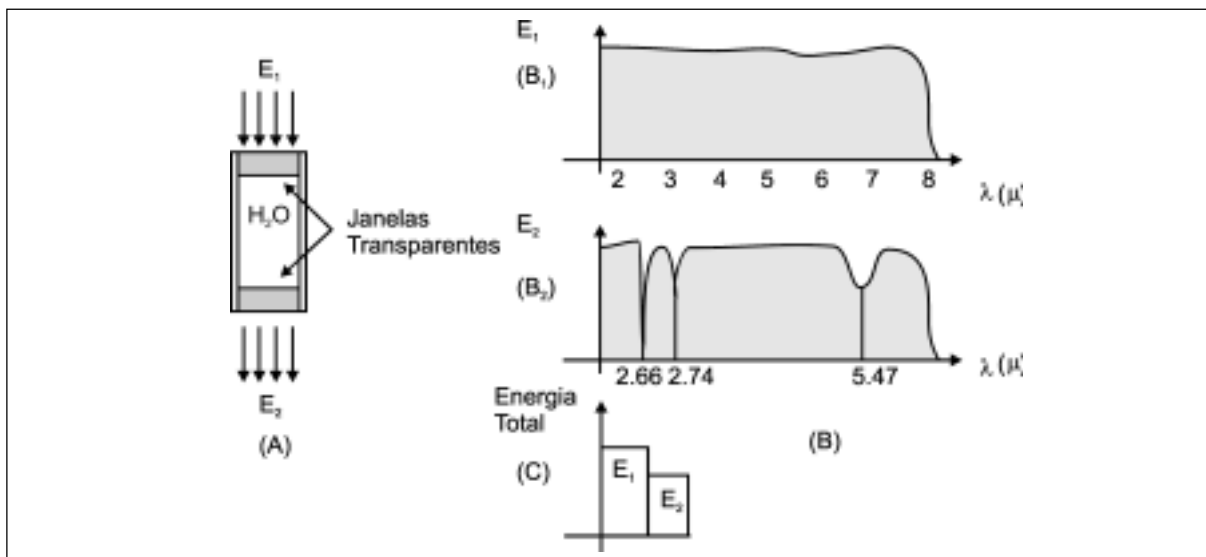
A Figura abaixo, representa a subdivisão.

Espectro infravermelho.

10.3.2 Princípio de medição

A absorção dos raios infravermelhos é efetuada no interior de uma célula provida de janelas que permitem a passagem de raios infravermelhos e a relação quantitativa entre a absorvidade do infravermelho pelas moléculas e a quantidade do gás existente numa mistura é dada pela equação 2.4, apresentada mais a frente.

Espectro de absorção

Quando um feixe de radiação infravermelha atravessa uma substância gasosa, sofre uma absorção de energia em certos comprimentos de onda, resultando em um feixe emergente, com energia inferior a de entrada.

A Figura abaixo representa, graficamente, o fenômeno de absorção seletiva.

Absorção da infravermelho pela água.

Em A, temos representada uma câmara ou célula de análise, que contem um determinado gás ou mistura de gases. Sobre a câmara, incide um feixe de radiação infravermelho de energia total E. Ao abandonar a câmara, a energia sofreu um redução em alguns comprimentos de onda, sendo sua energia representada por E_2. O gráfico B, representa a distribuição de energia de entrada ao longo da faixa total de comprimentos de onda.

O gráfico B_2 representa o mesmo tipo de distribuição onde nota-se, porém, a redução de energia em alguns comprimentos de onda.

Em C, temos uma comparação entre as energias totais de entrada e saída, E_1 e E_2, respectivamente.

A redução da energia radiante, através de uma substância qualquer, obedece a lei de BEER-LAMBERT.

De um modo geral, toda energia radiante do espectro eletromagnético obedece a esta lei.

$$E_2 = E1 * e^{-\varepsilon(\lambda) \cdot \rho \cdot \lambda} \text{ .... } (2.4)$$

Em que:

E_2 = energia emergente da substância
E_1 = energia incidente na substância
e = base dos logarítimos Neperianos = 2,71828
$\varepsilon(\lambda)$ = Fator que depende do comprimento de onda da radiação e do tipo de substância.
ρ = densidade do meio absorvente
λ = distância percorrida pela radiação no meio.

Analisando melhor o gráfico B_2 da Figura anterior, observa-se que este representa, no eixo vertical as energias correspondentes a cada comprimento de onda (energia espectral), e na horizontal, os comprimentos de onda em μ ou, ainda, os números de onda, grandeza esta, usada preferencialmente em espectroscopia.

10.3.3 Fonte de infravermelho

As condições necessárias da fonte de luz do analisador de espectroscopia do infravermelho para fins industriais são, que o aparelho emita o espectro contínuo e que a característica da onda seja próxima à da radiação de um corpo negro, que seja estável por um prolongado período e que a variação da luminância seja o mínimo possível. Dentre as diversas fontes que satisfazem as condições acima citadas com relativa facilidade, existem, fontes de infravermelho provenientes de fio metálico e de corpos emissores de calor.

10.3.4 Célula

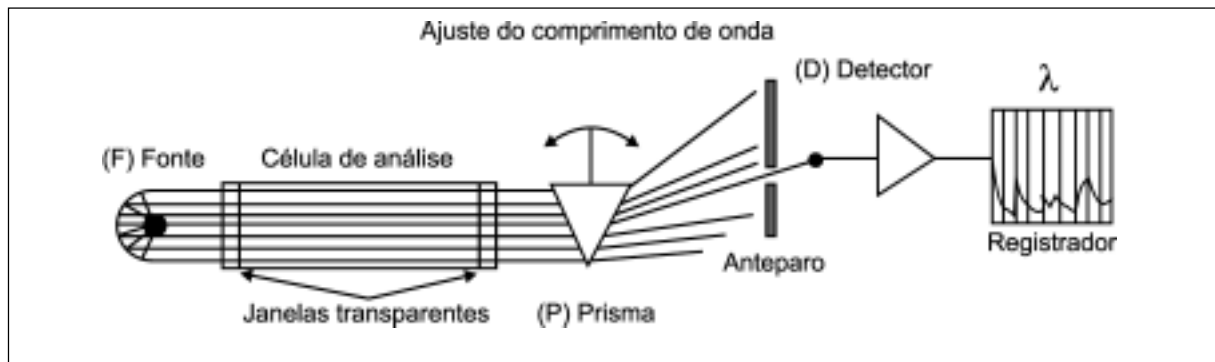
A célula poderá ser feita de aço inoxidável, de vidro, ou de alumínio e, a parede interna da mesma é polida ou acabada por eletrogalvanização, a fim de elevar a refletância do infravermelho e as extremidades deverão estar providas de janelas que permitam a passagem do infravermelho.

10.3.5 Tipos de analisadores

Os instrumentos baseados na absorção do infravermelho podem ser classificados em dois grandes grupos:

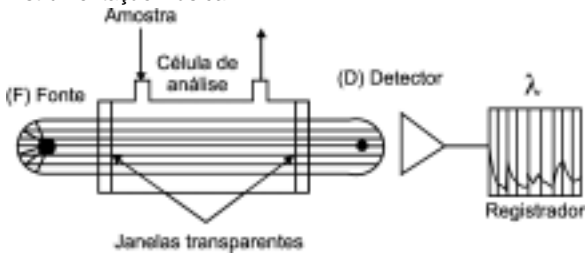
1. analisadores tipo dispersante (espectrômetro)
2. analisadores tipo não dispersante

Tipo dispersante

O princípio básico de funcionamento dos analisadores dispersante está representado na Figura abaixo.

Espectrômetro básico.

A radiação infravermelha proveniente da fonte (F), passa através de uma célula, contendo a amostra da substância a ser analisada. O feixe transmitido sofre, no prisma (P), uma dispersão e o espectro, assim obtido, incide em uma fenda que seleciona uma estreita faixa ou banda de comprimentos de onda, que irá atingir o detector de radiação (D).

Atuando sobre os sistemas de dispersão, pode-se fazer uma exploração de todo o espectro, tendo como resultado, um gráfico chamado espectrograma, conforme mostram as Figuras de gráficos da página 50 e 52.

Este tipo de analisador é usado em laboratórios e sua operação e feita por técnicos especializados. Pode analisar gases, líquidos e sólidos, não havendo, em princípio, necessidade de conhecimento prévio dos componentes da amostra a ser analisada, pois o estudo do espectrograma fornecido permite identificar e quantizar as diversas substâncias presentes.

Tipo não dispersante.

A fonte do infravermelho (F) emite um feixe de radiação que passa através da célula de análise, indo incidir no detector (D) sem ter sofrido nenhuma dispersão.

O sinal recebido pelo detector varia de acordo com a concentração do gás a ser analisado, sendo o resultado, geralmente registrado em termos percentuais.

Uma diferença a ser observada entre os dois tipos de analisadores é que, no tipo não dispersante, a amostra flui continuamente através da célula de análise, fornecendo, ao longo do tempo, a concentração de somente um dos componentes da amostra, conforme mostra a Figura do gráfico de Analisador Contínuo, enquanto no espectrômetro, a análise é feita com uma amostra selecionada por vez, sendo, o resultado, o espectro de absorção de todos os componentes presentes na amostra, conforme Figura do gráfico de um Espectrômetro..

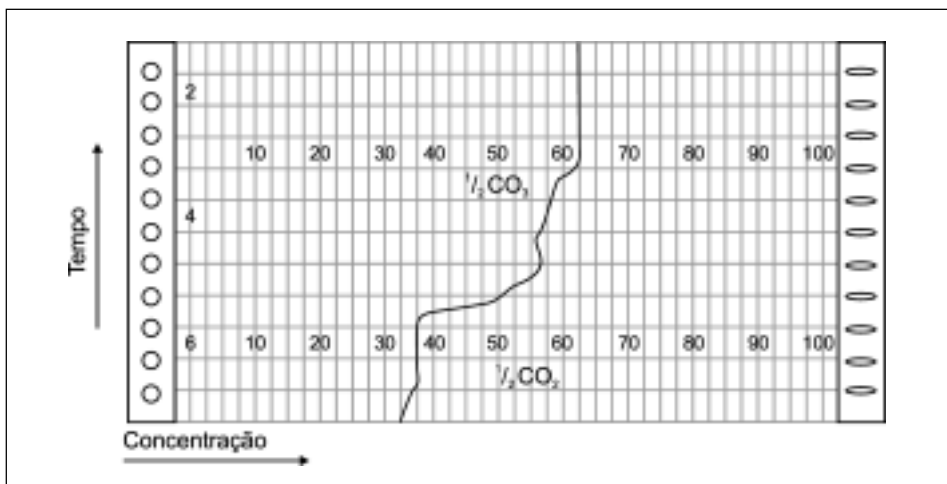



Gráfico de analisador contínuo.

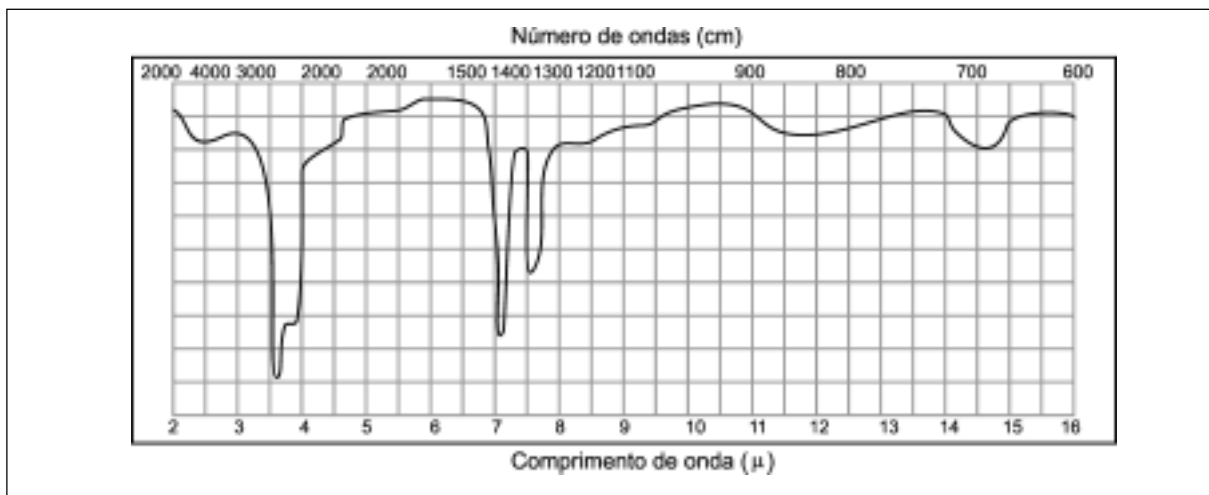
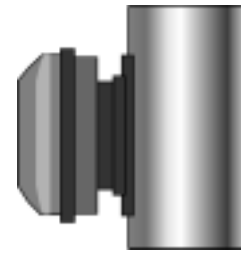
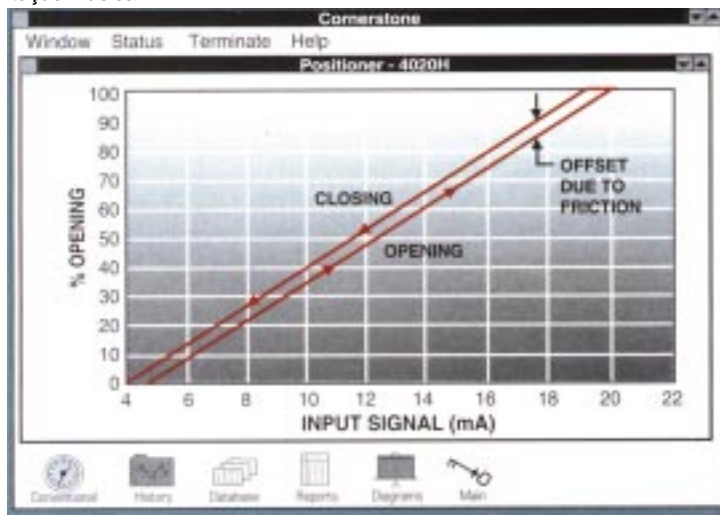
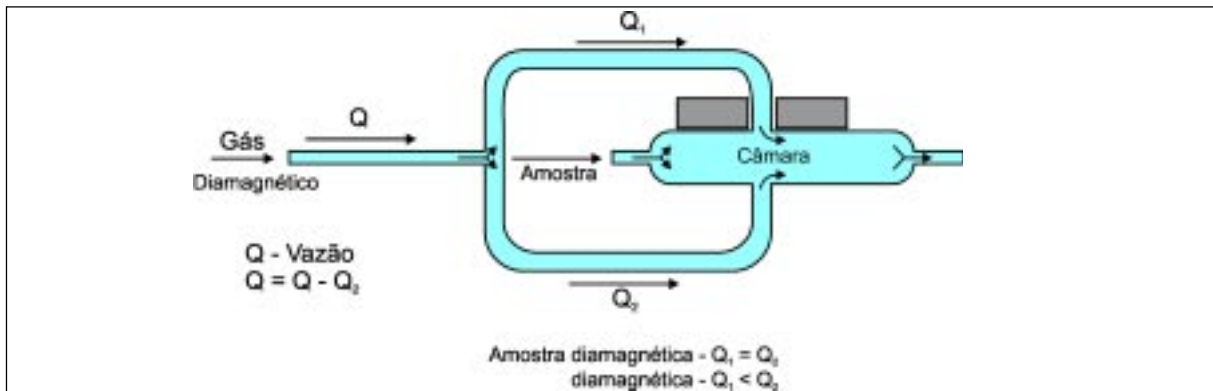



Gráfico de um espectrômetro.

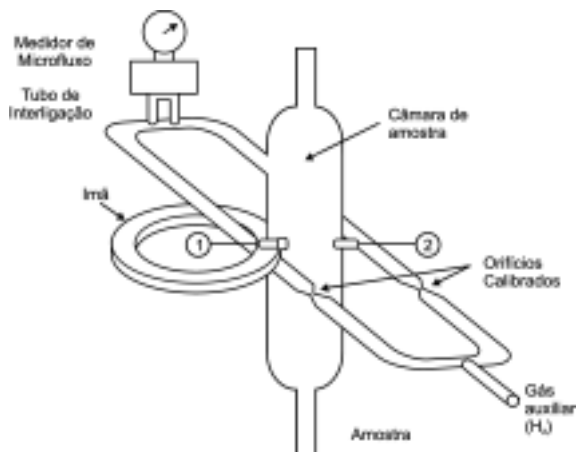
Pelo fato de os analisadores não dispersantes apresentarem uma análise contínua ao longo do tempo, possuem aplicação bastante comum como elementos de monitoria e controle em processos industriais, dos mais variados tipos, principalmente, na análise de substância na forma gasosa.

10.3.6 Analisadores paramagnéticos

São instrumentos que medem a suscetibilidade magnética de uma mistura de gases mantendo constante sua temperatura.

Analisadores QUINCKE – São baseados no efeito QUINCKE, representado na Figura abaixo.

Efeito Ouincke.

Um fluxo de gás diamagnético (N_2, Ar) se bifurca e volta a se encontrar em uma câmara, onde circula a amostra. Uma das linhas esta submetida a um forte campo magnético, próximo a câmara de amostra.

Este campo provocará uma contrapressão na linha, caso a amostra apresente propriedades paramagnéticas. A relação entre as pressões ou vazões nas duas linhas indicará a suscetibilidade magnética do gás em análise.

Os instrumentos fabricados sob este princípio, apresentam suas unidades analisadoras conforme mostra a Figura ao lado.

Analisador paramagnético a efeito Quincke.

A amostra a ser analisada circula por uma câmara de forma achatada, com uma vazão constante. Um gás auxiliar diamagnético, geralmente nitrogênio, é introduzido nesta câmara em dois pontos simétricos através de orifícios calibrados idênticos. Um pequeno tubo interliga estes dois pontos de injeção de nitrogênio. Um possante imã estabelece um campo magnético em um destes pontos de injeção.

No tubo de interligação, existe um medidor sensível a pequenos fluxos de gás, que detectará qualquer circulação do gás auxiliar.

Funcionamento: supondo que a amostra não contenha gás paramagnético, ocorrerá o seguinte:

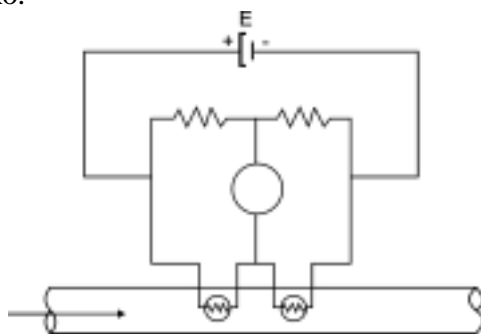
– O campo magnético não introduzirá nenhuma alteração na distribuição de fluxos de dois ramos de nitrogênio. O instrumento é ajustado para que as pressões nos pontos 1 e 2, sejam iguais, e desta forma, não circulará nenhum nitrogênio, no tubo de interligação. A indicação do analisador se estabelece em zero.

Supondo a presença de um gás paramagnético na amostra, como o oxigênio, ocorrerá o seguinte:

– O Campo magnético estabelecido em um dos ramais, atrairá o gás paramagnético da amostra para a região de maior densidade de fluxo magnético.

Esta particularidade provocará um aumento de pressão neste ramal, que gerará, um fluxo de nitrogênio no tubo de ligação. Este fluxo representará a suscetibilidade magnética da amostra, que por sua vez, é proporcional a concentração do oxigênio na amostra. Visando aumentar a estabilidade da indicação e a sensibilidade do instrumento, o campo magnético é feito variável por meios mecânicos, de forma a obter um fluxo de nitrogênio pulsante no tubo de interligação. Um circuito eletrônico transformará estes pulsos de vazão em sinais elétricos de medição. A medição do fluxo é geralmente feita por sistema térmico. Neste sistema, conforme a Figura abaixo dois termistores, T_1 e T_2, aquecidos eletricamente, são colocados a pequena distância um do outro na direção do eixo do tubo por onde circula o gás.Os dois termistores são ligados num circuito em ponte, que detectará qualquer diferença de resistência entre eles. A alimentação da ponte mantêm os termistores em uma temperatura acima da ambiente.

Não havendo circulação de gás, as temperaturas de T_1 e T_2 são idênticas e, conseqüentemente, o instrumento de medição marca zero.

Com circulação de gás da esquerda para a direita, por exemplo, T_1 esfria e T_2 aquece e a indicação do instrumento será proporcional ao fluxo.

Sensor de fluxo térmico.

Considerações gerais sobre o analisador de efeito QUINCKE

– No caso da amostra não circular no sistema de detecção do fluxo, o analisador não é sensível às características físicas do gás de amostra, tais como: densidade, calor específico, condutibilidade térmica e viscosidade. Gases corrosivos podem ser analisados com facilidade.

– Os fatores que interferem na precisão do instrumento são: vazão da amostra e do gás auxiliar, pressão atmosférica e temperatura da amostra. Deste modo, o analisador possui dispositivos para manter constantes estas grandezas.

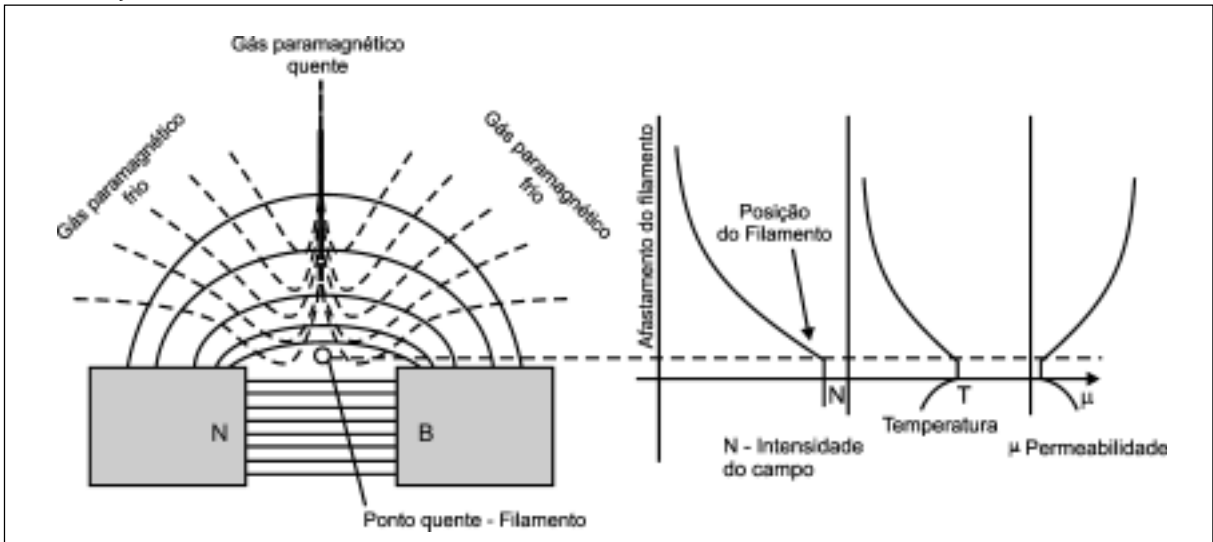
– As faixas de medição podem ser ajustadas de um mínimo 0% a 2% de oxigênio a um máximo de 0% a 100% de oxigênio com ou sem a supressão de zero. No caso de supressão o analisador pode ser ajustado em qualquer faixa, para um intervalo mínimo de variação de 2%, como no caso da faixa de 98% a 100% de oxigênio. A precisão da medição é melhor do que ± 2% do valor medido.

– Outra característica positiva deste tipo de analisador é o seu tempo de resposta extremamente curto, geralmente: inferior a 1 segundo.

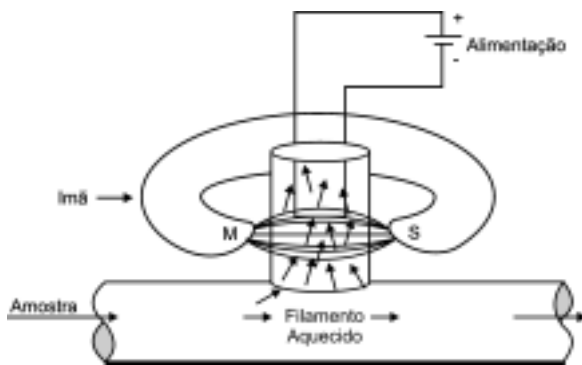
– Como desvantagem, poda ser citada, a influencia de posição do instrumento, na precisão de medição do mesmo.

Analisadores Termoparamagnéticos ou analisadores termomagnéticos

São instrumentos baseados na diminuição da suscetibilidade magnética com o aumento de temperatura.

A combinação apropriada de um gradiente de temperatura e um campo magnético não uniforme cria um fluxo gasoso proporcional a suscetibilidade do gás, chamado vento magnético (Figura a seguir).

Vento magnético.

A intensidade do vento magnético representa a suscetibilidade magnética do gás ou a concentração do oxigênio, quando o mesmo estiver na amostra. Os analisadores termomagnéticos podem ser de dois tipos:

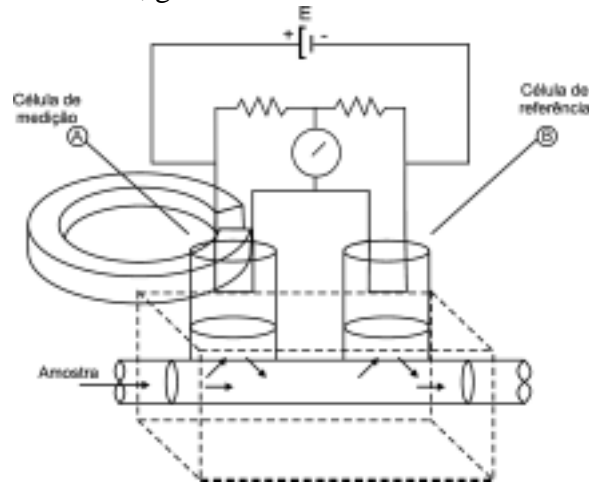
– Analisador tipo convectivo: a Figura abaixo mostra o princípio básico deste analisador.

Analisador termomagnético convectivo básico.

Um filamento aquecido eletricamente, no interior de uma câmara, gera correntes de convecção térmica do gás, que não será afetado pela ação do campo magnético aplicado (se a amostra não possuir algum componente paramagnético).

Ao circular um gás paramagnético na célula, será acrescentada à convecção térmica, uma outra, do tipo paramagnética, que é o vento magnético. Estes fluxos gasosos reduzirão a temperatura do filamento, e conseqüentemente, a sua resistência elétrica.

O valor desta resistência, medido, representará, a suscetibilidade magnética do gás.

As células de análise usadas nos instrumentos desta classe, variam consideravelmente na sua forma física, disposição em relação ao fluxo de amostra e número de elementos sensores.

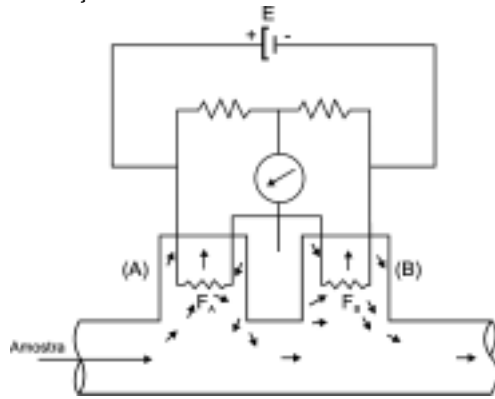
A Figura abaixo mostra um tipo de célula de análise, genérico:

Analisador termomagnético convectivo.

Comparando com o sistema básico, mencionado anteriormente, nota-se o acréscimo dos seguintes elementos:

– uma célula de referência ou comparação;

– um sistema para medir as variações de resistências, relativas às duas células.

Funcionamento:

A Figura a seguir mostra duas células, A e B, contendo, cada uma, filamentos idênticos mantidos em uma temperatura superior à das paredes da célula, por meio de uma fonte de alimentação, E.

Células idênticas sem campo magnético.

Os dois filamentos, Fa e Fb, estão ligados em uma ponte de "WHEATSTONE", que mede as diferenças de resistência entre os mesmos. Estas diferenças são indicadas no amperímetro 1.

Os filamentos geram uma quantidade fixa de calor, por meio da ponte E, e perdem parte deste calor para o ambiente, por meio de condução, radiação e convecção. Devido a igualdade geométrica e elétrica entre as duas células, as temperaturas dos dois filamentos será idêntica, independentemente da composição e característica física do gás de amostra circulante. A presença de gás paramagnético, como o oxigênio, também não interferem no equilíbrio térmico existente, devido à ausência de campos magnéticos.

As setas no interior das células representam as correntes convectivas, estabelecidas pelos filamentos aquecidos. O gás, aquecido pelo filamento, diminui sua densidade e sobe até encontrar as paredes mais frias da célula, onde se resfria e desce, sendo introduzido na corrente de ascensão. Desta forma, o calor é transportado do filamento para as paredes da célula.

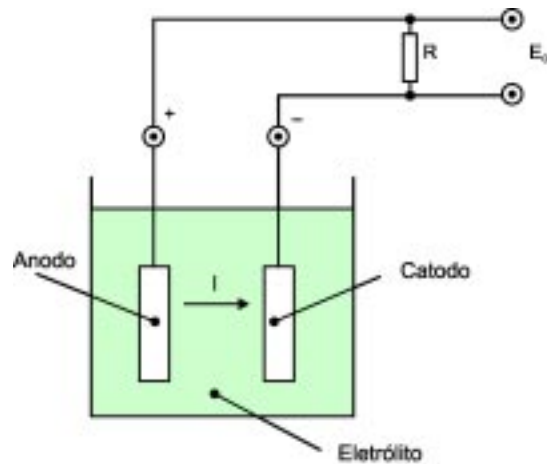
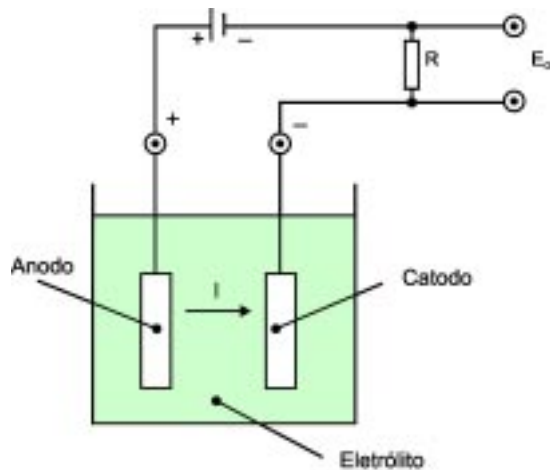
A Figura acima mostra as mesmas células da figura anterior, porém, foi introduzido um imã, que estabelece um forte campo magnético na célula A, de medição.

No caso do gás circulante não ter propriedades paramagnéticas, como ocorre na maioria dos gases industriais, não haverá nenhuma perturbação sensível com a introdução do campo magnético. A fonte de medição permanecerá equilibrada e o amperímetro não indicara a passagem de corrente elétrica, indicando, deste modo, zero.

10.4 Analisador de Oxi-Zircônia

10.4.1 Introdução

A célula eletroquímica constitui-se, basicamente, de dois eletrodos imersos ou separados por um meio condutor adequado, líquido ou sólido, denominado eletrólito. A célula eletroquímica pode ser classificada em:

a) Célula eletroquímica galvânica ou voltaica: é aquela que transforma energia química do sistema eletrodo/eletrólito em energia elétrica (Figura abaixo).

b) Célula eletroquímica eletrolítica: é aquela ligada a uma fonte de energia elétrica externa que força a passagem de corrente elétrica através da célula (Figura abaixo).

Células Eletroquímicas.

c) A aplicação da célula eletroquímica na análise de gases, especificamente do gás oxigênio, baseia-se no fato de que esse gás, ao entrar em contato com o eletrólito da célula, reage quimicamente com este, de uma forma previsível e definida, permitindo estabelecer uma relação entre sua concentração e uma

grandeza elétrica qualquer, possível de ser medida através da célula. (Exemplo: tensão elétrica, corrente elétrica, resistência ôhmica, etc.). A reação química entre o oxigênio e o eletrólito é regida pela lei de Henry que diz: “O oxigênio dissolvido no eletrólito é função da concentração deste gás na amostra”.

10.5 Analisador de Líquidos

10.5.1 Medidor pH

Definição de pH

“pH é um índice que representa o grau de alcalinidade ou de acidez de uma solução”. A medição de pH pode ser dividida de um modo geral em dois métodos:

Método de medida elétrica e método de medida pela comparação de cor.

Na área industrial, utiliza-se o método de medição elétrica devido a sua facilidade de manipulação e facilidade na instrumentação.

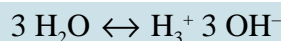
O método de eletrodo de vidro é, principalmente, o mais utilizado. A definição do pH é conforme a fórmula 3.1.

$$pH = -\log[H+] \quad (3.1)$$

$pH = -\log$ a H+: atividade do íon Hidrogênio (3.2)

Na realidade é difícil medir atividade do ion hidrogênio, o H+, durante a medição do pH, por isso ela é realizada através da medição comparativa com um líquido cujo pH já é conhecido.

A água pura é considerada um eletrólito fraquíssimo, dissociando-se de acordo com a seguinte equação iônica:

$$3\ H_2O \leftrightarrow H_3^+\ 3\ OH^-$$

O grau de dissociação da água é extremamente pequeno. Realmente, a água não é um isolante perfeito, apresentando uma condutibilidade elétrica da ordem de 10^{-6} mho.

A concentração de seus íons, determinada experimentalmente pela medida de condutibilidade elétrica, na temperatura de 25°C e de:

$$[H+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ íon g/litro}$$

Este valor significa que de 10^7 mols de água, apenas uma se ioniza. Diante do que foi dito, é fácil concluir que a concentração da água não dissociada é praticamente a totalidade da mesma.

Escolheu-se o valor da concentração do íon hidrogênio para identificar os meios ácido, básico e neutro. Assim, temos:

[H+] > 7	meio ácido
[H+] = 7	meio neutro
[H+] > 7	meio básico ou alcalino

A fim de evitar o trabalho com potências de expoente negativo, adota-se um símbolo capaz de facilitar a identificação dos diferentes meios. Por proposta de SORENSEN (físico-químico sueco) foi aceito o símbolo pH (potencial hidrogeniônico). Logo:

$$pH = \log \frac{1}{[H+]}$$

Ou

pH   colog [H+]

Desse modo:

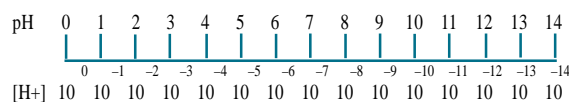
pH < 7	meio ácido
pH = 7	meio neutro
pH > 7	meio alcalino

Analogamente, têm-se pOH = log 1/ [OH]

claro que pH + pOH = 14

Limites do pH:

Os valores do pH encontram-se distribuídos entre zero e 14. O ponto 7 indica o meio neutro; entre zero e 7 encontra-se a faixa ácida e de 7 a 14 a faixa alcalina.

Assim:

O diagrama acima nos mostra que quanto maior for a acidez maior é a concentração do íon hidrogênio e menor o pH.

O inverso se passa com a alcalinidade.

No caso do método de eletrodo de vidro, calcula-se através de comparação com um líquido padrão.

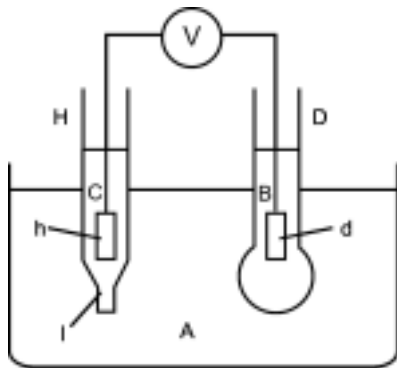
10.5.2 Medição de pH através do eletrodo de vidro

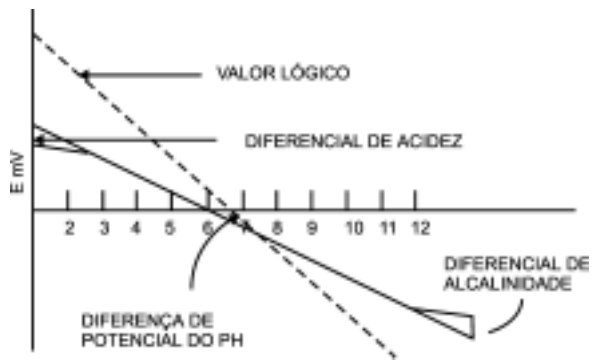
Conforme indica a Figura a seguir, mergulha-se o eletrodo de vidro D no líquido de pH desconhecido. No interior deste coloca-se a solução “B” que possui pH diferente ao do líquido desconhecido “A”. Neste caso surgirá uma diferença de potencial proporcional a diferença de pH, entre estes dois líquidos, na parte interna

e externa da camada fina do eletrodo de vidro. Esta diferença de potencial elétrico é conduzida ao medidor de diferença de potencial “V”, passando pelo eletrodo interno “d” e pelo líquido de pH desconhecido “A”, e, passando pelo eletrodo interno “h” do eletrodo de comparação “H”.

Considera-se que a diferença de potencial surgida no interior da camada fina do eletrodo de vidro seja E, que a diferença de potencial surgida entre o líquido interno e externo do eletrodo de vidro seja e_1, e que o potencial elétrico surgido entre o líquido interno e o eletrodo interno do eletrodo de comparação seja e_2, tem-se:

$$V = e_1 + E - e_2$$

Se igualarmos o eletrodo interno com o líquido contido na parte interna e_1 e e_2 serão iguais, possibilitando a obtenção do valor de E.

Os eletrodos internos utilizados, são de estruturas praticamente idênticas, e tal providência foi tomada para que não ocorresse uma diferença na força elétrica gerada, causada pêlos eletrodos internos de diferentes estruturas.

O líquido interno do eletrodo de vidro contêm uma solução padrão com pH igual a 7 e no meio líquido interno para uso do eletrodo diferencial utiliza-se o Cloreto de potássio (KCL). O KCL é utilizado pois apresenta a menor diferença de potencial elétrico entre os líquidos não medidos.

Caracterísitca do eletrodo de vidro.

A Figura acima mostra a característica da energia gerada no eletrodo de vidro.

10.5.3 Solução padrão de pH

A solução padrão de pH deverá ter como características:

a) A menor diferença de potêncial elétrico em relação ao KCL, a ponto de ser desprezível.
b) Facilidade na fabricação da solução padrão pura.
c) Grande força amortecedora.

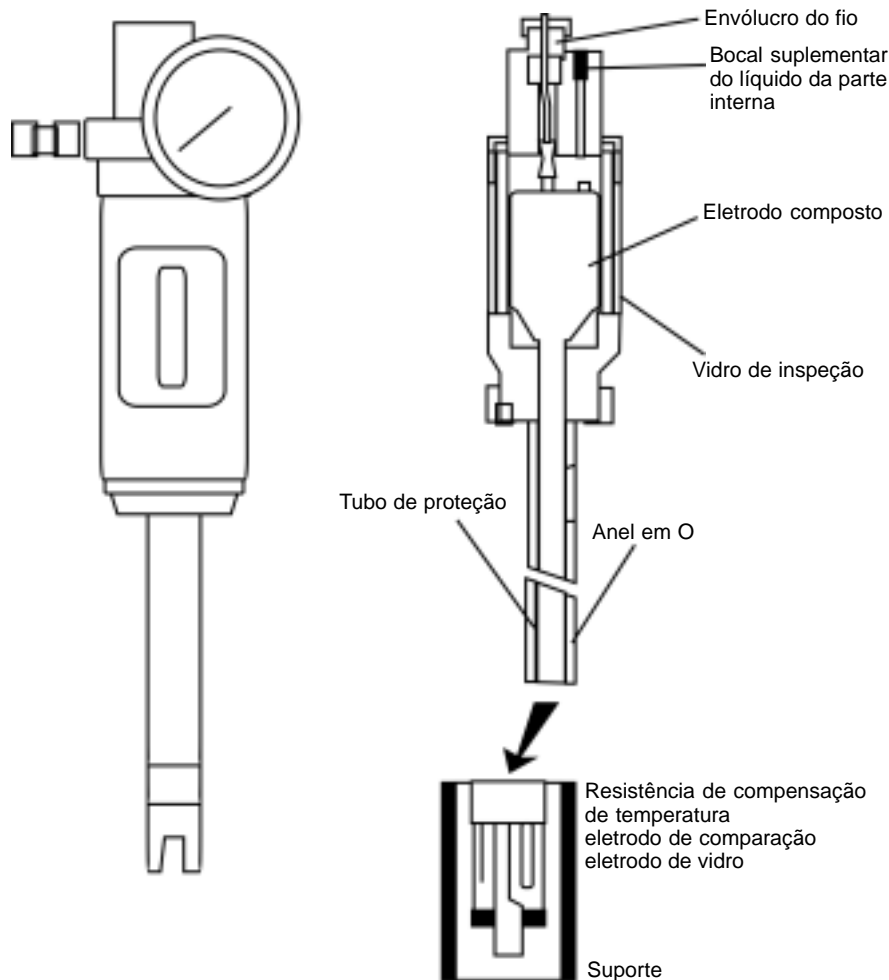
Por esses motivos a solução de ácido Potássio Ftálico foi escolhida como solução padrão. Como o eletrodo de vidro possui a característica de perder a linearidade quando o ácido ou a alcalinidade se tornam fortes, torna-se necessário para fins de correção mais de duas soluções padrões com diferentes pH. A característica da temperatura da respectiva solução padrão é representada na tabela abaixo.

Temperatura 0º	Ácido oxático	Ácido ftálico	Ácido fosfórico neutro	Ácido bórico	Ácido carbônico	Solução de hidróxido de bório	Solução de hidráxido de cálcio saturado
0	1,67	4,01	6,98	9,46	10,32	13,8	13,4
5	1,67	4,01	6,95	9,39	(10,25)	13,6	13,2
10	1,67	4,00	6,92	9,33	10,18	13,4	13,0
15	1,67	4,00	6,90	9,27	(10,12)	13,2	12,8
20	1,68	4,00	6,88	9,22	(10,07)	13,1	12,6
25	1,68	4,01	6,86	9,18	10,02	12,9	12,4
30	1,69	4,01	6,85	9,14	(9,97)	12,7	12,3
35	1,69	4,02	6,81	9,10	(9,91)	12,6	12,1
38	–	–	–	–	9,91	–	–
40	1,70	4,03	6,81	9,07	–	12,4	12,0
45	1,70	4,04	6,83	9,01	–	12,3	11,8
50	1,71	4,06	6,83	9,01	–	12,2	11,7
55	1,72	4,08	6,81	8,99	–	12,0	11,6
60	1,73	4,10	6,81	8,96	–	12,9	11,4

10.5.4 Observações a serem feitas durante a medição

A ponta do eletrodo de vidro é a parte vital, e deve estar permanentemente limpa. E ainda, como o eletrodo é feito de vidro, deve-se ter bastante cuidado ao manuseá-lo. Quando o líquido não manuseado estiver sujo, o eletrodo também se sujará com facilidade, de modo que é necessário planejar a introdução de equipamento automático de lavagem e realizar limpezas periódicas. Temos diversos métodos de lavagem automática como lavagem com ultra-som, lavagem com líquido químico, ou lavagem com escova, e é necessário que o método a ser escolhido dependa das condições das impurezas.

Como o KCL se desgasta, é necessário um planejamento adequado das condições de uso, no que se refere a sua distribuição automática a partir de um tanque e no que se refere a distribuição periódica.

Tem-se hoje com facilidade o eletrodo composto, que reúne o eletrodo de vidro e o eletrodo de comparação em um mesmo elemento. Isto simplificou o manuseio e o trabalho na conservação deste eletrodo. Tem-se também um sensor de temperatura junto aos eletrodos para que seja feita a compensação automática (Figura abaixo).

Eletrodo para medição de pH do tipo compacto.

10.6 Medidor de densidade específica

10.6.1 Medidor de densidade específica pelo método flutuação

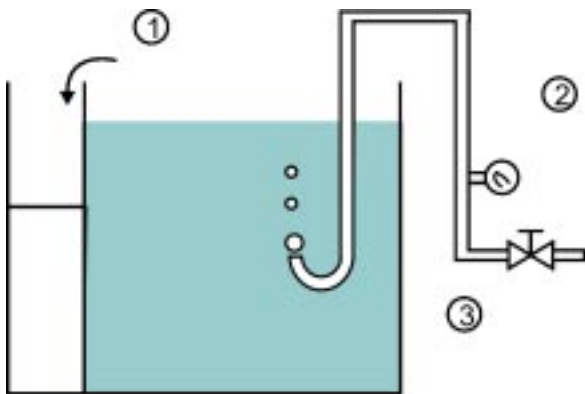
Quando fabrica-se a solução líquida de um elemento o seu volume será, em geral, menor que a soma dos dois.

A porcentagem dessa variação altera conforme a sua concentração e é difícil calcular o grau de concentração a partir da mistura dos dois. É muito freqüente medir o grau de concentração do álcool de uma bebida ou do ácido sulfúrico diluído num acumulador a partir da densidade específica. Com respeito a solução líquida comum (ácido sulfúrico, acido hidroclorico, acido nítrico, hidróxido de sódio, sal, sacarose, álcool, etc) tem-se uma relação entre a concentração e a densidade específica, podendo ser lida em tabelas, e no caso de solução líquida de ácido sulfúrico, há a balança

flutuante com graduação direta do grau de concentração, de modo que sua medição pode ser feita de maneira direta e fácil. Nas indústrias utiliza-se o medidor de densidade específica pelo método de pressão, pela radiação ou pelo efeito Coriolis.

10.6.2 Medidor de densidade específica pelo método de pressão

É um medidor que utiliza o princípio do medidor da superfície do líquido pelo método borbulhador (Figura abaixo), isto é, mantêm-se a superfície da solução, a ser medida a um determinado nível e faz com que um certo volume de ar seja aí colocado e depois mede-se a pressão posterior exercida sobre o cano que esta mergulhado na solução e de cuja extremidade sai um certo volume da bolha de ar. Como a superfície da solução é determinada, a pressão está em relação proporcional com o peso líquido, isto é, com a densidade do líquido, e conhecendo-se essa pressão, conhece-se também a densidade específica.

Este método é utilizado para medir a densidade especifica do ácido contido num recipiente com solução ácida para decapagem de metais que está em estado da excesso e depois que o líquido esteja sendo distribuído continuamente.

1 - Excesso
2 - Medidor de Pressão
3 - Válvula controladora de ar

Medidor de gravidade específica pelo método de radiação

A radiação possui a característica de se transmitir através de um material, e neste processo, a sua intensidade (energia) é absorvida. O grau de absorção difere conforme o material, e ainda conforme a espessura deste material. Se a espessura do material for constante, a concentração do material, ou mesmo de um líquido, será praticamente proporcional a densidade específica. Transmitindo-se através de um material usado uma radiação de uma determinada energia, mede-se a sua intensidade após a radiação e tem-se uma relação específica entre a densidade específica e o grau de diminuição dessa intensidade, através da qual pode-se medir a densidade específica. Pode-se utilizar radiações visíveis (Luz, infravermelho, raios gama...)

10.6.3 Medidor do grau de densidade pelo método de comparação da cor

Princípio pelo método de comparação de cor

Transmite-se raios visíveis a uma solução e depois calcula-se o grau de densidade a partir da quantidade de luz absorvida por essa solução. Na tabela abaixo representa-se a relação entre a cor e o comprimento de onda da luz.

Relação entre cor e comprimento de onda

Comprimento da Onda	Cor
400 ~ 435	Roxo
435 ~ 480	Azul
480 ~ 500	Azul Verde
500 ~ 560	Verde
560 ~ 580	Amarelo Verde
580 ~ 595	Amarelo
595 ~ 610	Laranja
610 ~ 750	Vermelho Laranja
750 ~ 800	Vermelho

10.6.4 Estrutura do equipamento

Utiliza-se, freqüentemente, o equipamento baseado no princípio do método da intensidade da luz absorvida pelo filtro como sendo um analisador do grau de densidade continua para fins industriais.

Linha de medida.

É estruturado pela parte da fonte de luz monocromática, parte de amostra, e parte de medição da luz recebida.

A Figura abaixo representa a estrutura do comparador da cor do filtro fotoelétrico.

1. fonte da luz
2. filtro
3. receptor de luz
4. circuito elétrico
5. parte da fonte de luz monocromática
6. parte da medida da luz recebida

Exemplo de estrutura do comparador da cor do filtro fotoelétrico.

Parte da fonte de luz monocromática

Utiliza-se a lâmpada de tungstênio ou lâmpada xenônio como fonte de luz. Como filtro, utiliza-se o filtro de vidro em que a coloração é feita acrescentando um elemento oxidante metálico no interior de um vidro inorgânico ou o filtro, interferente que retira o comprimento da onda monocromática utilizando a interferência causada pela membrana fina evaporada e fixada na superfície do vidro.

Parte da medição da luz recebida

Dependendo da grandeza do volume de luz a ser medido ou do limite do comprimento da onda utiliza-se na parte da recepção da luz, vários tipos de tubos de recepção da luz, mas, para a medição do grau de densidade da solução através da medição elétrica da luz, utiliza-se o tubo fotoelétrico, tubo fotoelétrica, tubo de multiplicação fotoelétrica, etc.

Parte da amostra

Com relação a medição contínua, a pane do porta-amostras, é a parte mais importante do setor industrial, sendo os itens principais, do ponto de vista do planejamento:

- Que não haja sujeira nem embaçamento na parte da passagem do raio de luz da amostra.
- Que o fluxo continuo da amostra seja limpo.
- Que a mistura entre a amostra e o reagente seja bem feita e que não haja atraso no tempo.
- Que não haja acúmulo de elementos flutuantes.
- Que não haja variação de temperatura.

Referências Bibliográficas

DIKE, Paul II. Temperature Measurements with Rayotubes – Leeds & Northrup CO. (monografia)

ECKMAN, Donald P. Industrial Instrumentation – John Willey

MILLER, J. T. The Revised Course in Industrial Instument Technology Instrument Pratise

Uso e Aplicação de Termosensores. IOPE (Manual e Catálogos)

COELHO, Marcelo S. Dispositivos de Medição e Controle. SENAI.

TEIXEIRA, Paulo Frade. Tecnólogo em Processamento e Dados, atuando no setor de Treinamentos in-Company do SENAI – Santos/SP.

Anotações

Válvulas de Controle

11

11.1 Introdução

Uma válvula de controle consiste, basicamente, de dois conjuntos principais: o corpo e o atuador.

O corpo é a parte da válvula que executa a ação de controle, permitindo maior ou menor passagem do fluido no seu interior, conforme a necessidade do processo.O conjunto do corpo divide-se, basicamente, nos seguintes subcomponentes:

a) corpo propriamente dito;
b) internos;
c) castelo e
d) flange inferior.

Nem todos os tipos de válvulas possuem, obrigatoriamente, o seu conjunto do corpo formado por todos os subcomponentes anteriormente mencionados. Em alguns tipos de válvulas, o corpo e o castelo formam uma só peça, denominada apenas de corpo, em outros nem existe o flange inferior. Porém, tais particularidades não serão consideradas, optando-se por um conceito mais global, para posteriormente restringi-lo à medida em que cada tipo de válvula de controle for sendo analisado.

Como o conjunto do corpo corresponde à parte da válvula que entra em contato direto como fluido, deve satisfazer os requisitos de pressão, temperatura e corrosão do fluido. Trata-se, portanto, de um **vaso de pressão** e, como tal, deve ser considerado.

11.2 Tipos de Corpos

As válvulas de controle são classificadas em função de seu formato (tipo de corpo) em dois grupos: deslocamento linear e de deslocamento rotativo.

a) De deslocamento linear
1. Globo convencional;
2. Globo Três vias;
3. Globo Gaiola;
4. Globo Angular
5. Diafragma;
6. Bi-partido;
7. Guilhotina.

b) De deslocamento rotativo
1. Borboleta;
2. Esfera;
3. Obturador excêntrico.

Para cada tipo de processo ou fluido, sempre há pelo menos um tipo de válvula que satisfaça os requisitos técnicos de processo,

independente da consideração econômica. Cada um destes tipos de válvulas possui suas vantagens, desvantagens e limitações para este ou aquele processo.

No decorrer deste capítulo serão analisados todos esses aspectos, oferecendo, assim, uma sólida base para o usuário selecionar a melhor válvula para a aplicação em questão.

Define-se por válvula de deslocamento linear, a válvula na qual a peça móvel vedante descreve um movimento retilíneo, acionada por uma haste deslizante; enquanto que uma válvula de deslocamento rotativo, é aquela na qual a peça móvel vedante descreve um movimento de rotação acionada por um eixo girante.

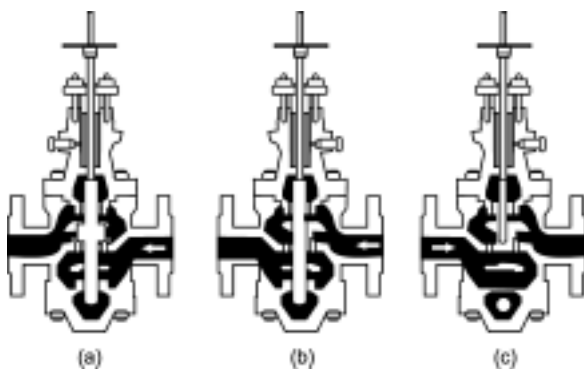
11.3 Válvulas de deslocamento Linear de Haste

11.3.1 Válvula de Controle Tipo Globo Convencional (Série SIGMAF)

A válvula globo, sem dúvida uma das mais completas e versáteis, pode ser **sede simples** (com corpo reversível e não reversível) e de **sede dupla** (com corpo apenas reversível).

Sede Simples

A figura a seguir mostra várias montagens da denominada válvula globo tipo sede simples. É fabricada em diâmetro de 1/2" até 10" e com conexões das extremidades rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas, nas classes de 150, 300, 600, 900 e 1500 lbs.

Neste tipo de válvula, o fluido no interior do corpo passa através de um único orifício.

Válvula globo convencional tipo sede simples.

Na Figura anterior (a), nota-se que o obturador é guiado duplamente, isto é, superior e inferiormente, e ainda um fato muito importante é que para a válvula fechar, o obturador deve movimentar-se para baixo, ou seja, deve **descer**. Tal tipo de montagem é denominada de **desce para fechar** ou **normalmente aberta**.

Por outro lado, na Figura (b), observa-se a mesma válvula, só que o obturador está invertido. Neste caso, para a válvula **abrir**, o obturador tem que **descer**. Pode-se notar que a única diferença entre essas duas válvulas é a posição de aberta e fechada em relação ao mesmo movimento do obturador. Enquanto que na primeira o obturador, ao descer, **fecha** a válvula, a segunda **abre-a** em resposta ao mesmo movimento do obturador. Esta é, portanto, uma válvula **desce para abrir** ou mais conhecida por **normalmente fechada**. Uma é inversa da outra quanto ao funcionamento.

Na figura (c), uma outra sede simples um pouco diferente das anteriores é observada. O obturador é guiado apenas superiormente e ao descer a válvula só pode fechar, não existindo a possibilidade de montagem do obturador em posição invertida ou **por baixo**. Esta válvula, em relação ao movimento do obturador de cima para baixo, só pode fechar. O fato de uma válvula ser **normalmente aberta** ou **fechada** é um fator muito importante a ser considerado na escolha da válvula.

11.4 Válvulas de Controle – Definições Geral

11.4.1 Válvulas de Controle

Dispositivo capaz de regular a vazão de um fluido (líquido, gás ou vapor) que escoa através de um conduto fechado, por meio do posicionamento relativo de uma peça móvel que obtura a área livre de passagem do fluido; o deslocamento da peça móvel é promovido por um atuador motorizado, em resposta a um sinal externo de comando, permitindo abrir ou fechar totalmente a válvula ou mantê-la em qualquer posição de seu curso, proporcionalmente ao sinal de comando; a energia de atuação é fornecida por uma fonte independente.

Classificação das válvulas de controle

Classificam-se em duas categorias básicas, conforme o tipo de deslocamento da peça móvel: válvulas de deslocamento linear e válvulas de deslocamento rotativo.

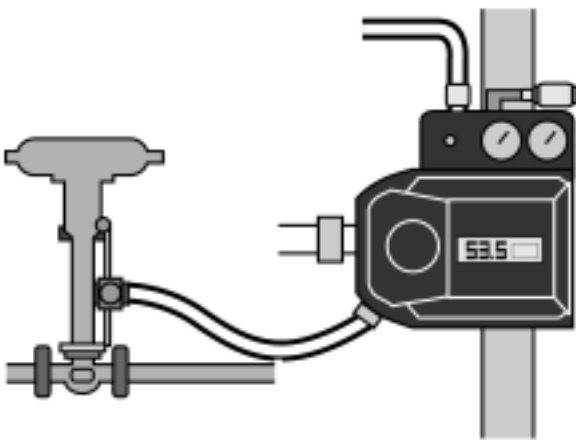
Válvula de deslocamento linear

Construção em que a peça móvel descreve um movimento retilíneo, acionada por uma haste deslizante.As construções típicas são: válvula globo, diafragma, entre outras.

Válvula de deslocamento rotativo

Construção em que a peça móvel descreve um movimento de rotação, é acionada por um eixo girante. As construções típicas são: válvula esfera, borboleta, excêntrica, etc.

11.4.2 Componentes da válvula de controle

A válvula de controle é composta por dois conjuntos básicos: conjunto do corpo, que mantém a peça movel, e conjunto do atuador, que promove o deslocamento da peça móvel. Acessórios diversos podem ser incorporados para executar funções auxiliares específicas: posicionador, limitador de curso, bloqueio de segurança, etc.

Conjunto do corpo

Conjunto formado pelo corpo propriamente dito, conjunto de internos (incluem o elemento móvel vedante e um ou mais orifícios de passagem de fluxo) e conjunto do castelo.

Corpo de sede simples

Construção em que o corpo apresenta um orifício de passagem e um elemento vedante simples.

Corpo de sede dupla

Construção em que o corpo é dotado de dois orifícios de passagem e um elemento vedante duplo.

Corpo de duas vias

Construção em que o corpo é dotado de duas conexões de fluxo, uma entrada e uma saída; as conexões podem estar em planos paralelos, fornecendo fluxo de passagem reta, ou em planos ortogonais, fornecendo fluxo de passagem angular.

Corpo de três vias

Construção em que o corpo apresenta três conexões de fluxo, sendo duas em plano paralelo e a terceira em plano ortogonal, podendo ser duas conexões de entrada e uma de saída (fluxos convergentes: válvula misturadora), ou uma conexão de entrada e duas de saída (fluxos divergentes: válvula distribuidora).

Conjunto do atuador

Conjunto formado pelo atuador propriamente dito pelo sistema de acoplamento mecânico entre este e o corpo da válvula. Conforme o meio de motorização, o atuador é de tipo pneumático, elétrico, hidráulico, etc.

Atuador pneumático

Atuador acionado pela pressão de ar ou outro fluido gasoso aplicado sobre um diafragma flexível ou rolante, ou sobre um sistema de cilindro e pistão, podendo ou não ser dotado de mola, conforme a construção particular.

Atuador elétrico

Atuador acionado por motor elétrico reversível.

Atuador hidráulico

Atuador acionado por sistema de pressão hidráulica.

Atuador eletro-hidráulico

Atuador acionado por motor elétrico que comanda o sistema de pressão hidráulica.

11.4.3 Tipos de válvulas de controle

Conforme arranjo construtivo, diversos tipos de válvulas de controle são utilizados, cada qual dotado de características operacionais específicas.

Válvulas globo

Válvula de deslocamento linear, corpo de duas vias, com formato globular reta com internos de sede simples ou de sede dupla.

Válvula angular

Caso particular de válvula globo, de sede simples, corpo de duas vias, com conexões de entrada e saída em planos ortogonais, as linhas de fluxo de entrada e saída fazem ângulo de 90º.

Válvula de três vias

Caso particular de válvula globo, de sede dupla, corpo de três vias, com fluxos convergentes (válvula misturadora) ou divergentes (válvula separadora).

Válvula de gaiola

Caso particular de válvula globo, com internos tipo gaiola de sede simples (corpo de duas vias) ou de sede dupla (corpo de três vias).

Válvula de diafragma

Válvula de deslocamento linear, corpo de duas vias, de passagem reta, com o elemento vedante constituído por um diafragma flexível que promove a restrição variável à passagem do fluxo (patente Saunders).

Válvula esfera

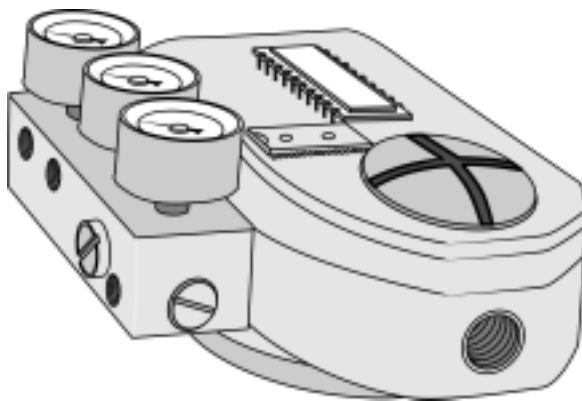
Válvula de deslocamento rotativo corpo de duas vias, de passagem reta, com internos de sede simples e elemento vedante constituído por uma calota ou segmento esférico acionado por eixo de rotação axial.

Válvula borboleta

Válvula de deslocamento rotativo, corpo de duas vias, de passagem reta, com internos de sede simples e elemento vedante constituído por um disco ou lâmina de formato circular acionado por eixo de rotação axial.

Válvula excêntrica

Válvula de deslocamento rotativo, corpo de duas vias, de passagem reta, com internos de sede simples e elemento vedante constituído por um disco, calota ou segmento circular acionado por eixo de rotação excêntrico (não axial).

Conversor + Posicionador Inteligente.

11.5 Válvula Globo

11.5.1 Corpo da válvula

Peça vazada (fundida, forjada ou moldada), dotada de conexões de entrada e saída, que contêm o conjunto dos elementos internos.

Corpo bipartido

Construção em que o corpo da válvula é formado por semi-corpos separados e justapostos, com as conexões de entrada e saída em cada semi-corpo (semi-corpo inferior e semi-corpo superior).

Flange inferior do corpo

Peça de vedação, flangeada e parafusada na face inferior do corpo (face oposta ao castelo), que serve de tampa para as válvulas globo convencionais, e serve também de suporte para a guia inferior nas hastes de guia dupla.

Jogo de prisioneiros e porcas do corpo

Conjunto de parafusos, prisioneiros e porcas para fixação corpo-castelo, e corpo-flange inferior (quando existente).

Carretel de três vias

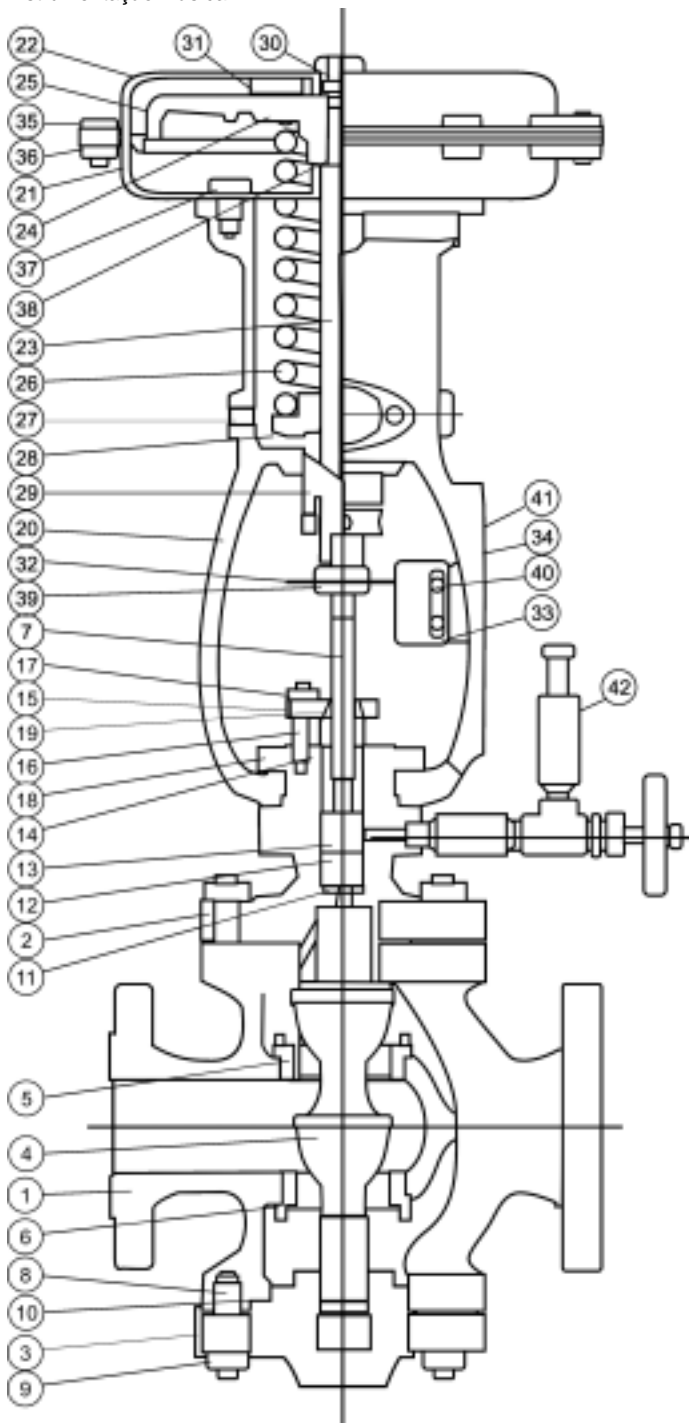
Peça flangeada e parafusada na face inferior do corpo (face oposta ao castelo), que forma a terceira conexão de fluxo nas válvulas de três vias, podendo também alojar a sede correspondente.

11.5.2 Internos (ou conjunto dos internos)

Conjunto dos elementos interiores ao corpo da válvula, que fazem contato direto com o fluido de processo, constituídos por uma combinação dos seguintes componentes obturador e anel de sede.

Tecnologia Disponível para propiciar um Diagnóstico *on line* sobre a válvula de controle.

Exemplo: Ciclo de atuação;
Histerese;
etc.

Válvula de controle pneumática.

Nº	Legenda
1.	Corpo
2.	Flange de castelo
3.	Tampa inferior
4.	Plug
5.	Sede
6.	Acento da Sede
7.	Haste de válvula
8.	Parafuso prisioneiro
9.	Porca
10.	Junta
11.	Junta de anel
12.	Gaxeta
13.	Anel de lubrificação
14.	Bucha
15.	Flange
16.	Parafuso prisioneiro
17.	Porca
18.	Porca de fixação do garfo
19.	Limpador de graxa
20.	Garfo
21.	Tampa inferior do diafragma
22.	Tampa superior do diafragma
23.	Haste do diafragma
24.	Prato do diafragma
25.	Diafragma
26.	Mola
27.	Sede de mola
28.	Assento da sede da mola
29.	Parafuso de ajuste da mola
30.	Conexão para ar
31.	Batente
32.	Disco Indicador
33.	Escada de curso
34.	Placa de identificação
35.	Parafuso
36.	Porca
37.	Prisioneiro
38.	Arruela
39.	Contra porca
40.	Parafuso para ajuste da escala
41.	Rebite
42.	Lubrificador

Anotações

Controle Automático de Processo 12

12.1 Sistemas de Controle

Um sistema de controle é uma série de unidades combinadas para produzirem um determinado resultado com pouca ou nenhuma supervisão humana. Os sistemas de controle podem ser classificados em **abertos** ou **fechados**. Denomina-se de sistema de controle aberto aquele em que a saída do processo não exerce nenhum efeito sobre a entrada do processo, enquanto que, um sistema de controle fechado (sistema de controle por realimentação), é aquele em que a energia de entrada no sistema é de alguma forma uma função da própria saída. Sistemas de controle abertos não são geralmente utilizados no controle de processos industriais, e, portanto, apenas serão considerados os sistemas de controle fechados.

12.2 Partes de um Sistema de Controle

Qualquer sistema de controle apresenta, basicamente, as seguintes partes ou elementos:

1. Processo;
2. Elemento primário;
3. Transmissor;
4. Controlador e
5. Elemento final de controle.

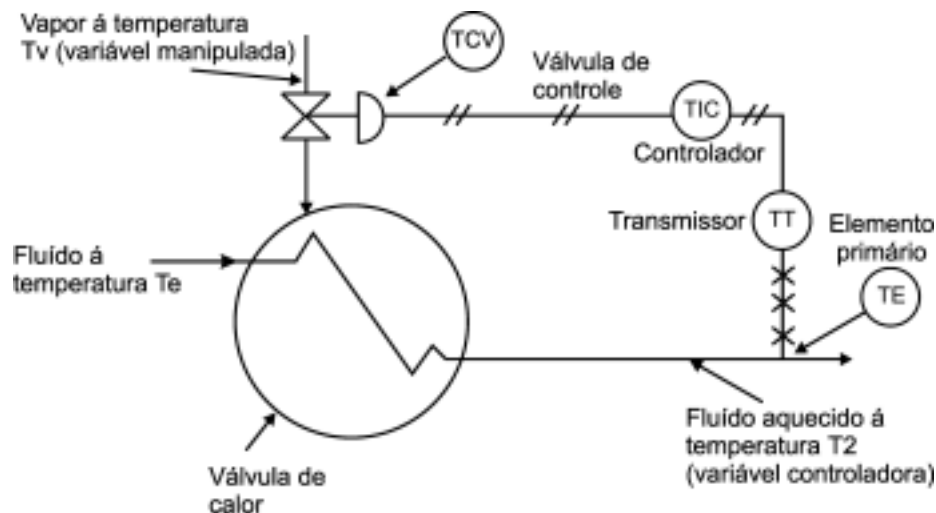
O **processo** é a parte do sistema que desenvolve alguma função desejada, pode ser mecânico, químico, elétrico ou uma combinação desses. Por exemplo, o nível de um líquido num tanque é um processo, assim como a geração de vapor através de uma caldeira.

Elemento primário é aquele que utiliza ou transforma a energia proveniente do meio controlado, para produzir um efeito que é função da variação no valor da variável controlada. Exemplos de elementos primários, termômetros, termopares, placas de orifício, manômetros, etc.

Transmissor é um dispositivo utilizado para transmitir o sinal vindo do elemento primário para um outro lugar.

Controlador é um dispositivo que produz um sinal de saída, que é função do sinal do desvio.

Elemento final de controle representa um dispositivo que, manipulado pelo sinal de saída do controlador regula o fluxo de energia ou material para um processo. Exemplos de elementos finais de controle são: **válvulas** de **controle**, reostatos, determinados tipos de bombas e outros.

Entre os diversos tipos de elementos finais de controle, a válvula é, sem dúvida alguma, a mais amplamente utilizada.

Sistema de controle da temperatura de um trocador de calor.

Será analisado, através da Figura anterior, o sistema de controle de temperatura de um trocador de calor, enquanto que, na Figura abaixo demonstra-se esquematicamente o correspondente sistema de controle por realimentação, através da representação por meio do diagrama de blocos.

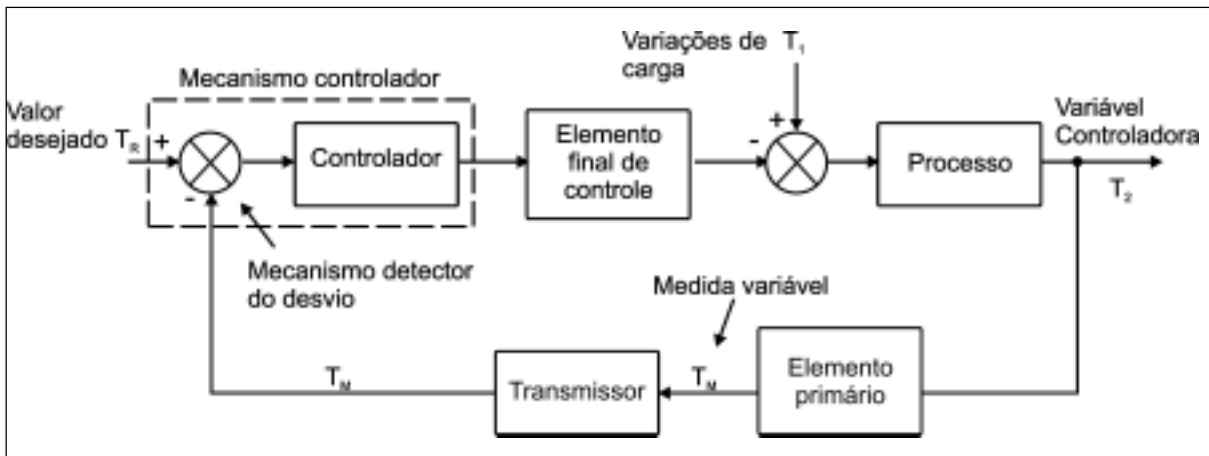
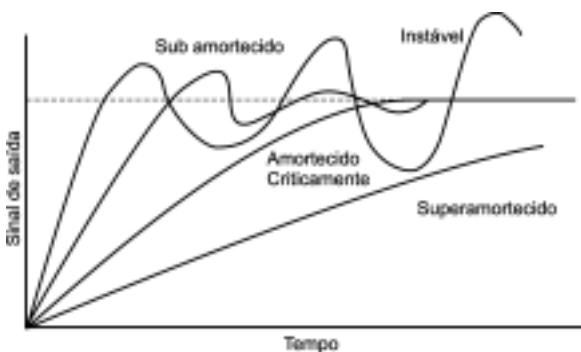



Diagrama de blocos do sistema de controle dado anteriormente na figura.

12.3 Estabilidade do Sistema de Controle

Um sistema de controle **estável** é aquele em que os transientes introduzidos no mesmo extinguem-se conforme o tempo aumenta. Um sistema **instável** é aquele em que o ciclo de resposta, após a introdução de um distúrbio, continua numa amplitude sempre crescente. Sistemas estáveis produzem diversos tipos de respostas dependendo das suas características. A resposta pode ser oscilatória com uma amplitude constante, oscilatória com uma amplitude decrescente ou pode ser uma curva moderada. Curvas características das respostas produzidas por um sistema a um súbito distúrbio são mostrados na Figura abaixo.

Tipos de respostas de um sistema de controle.

12.4 Funcionamento de um Sistema de Controle Fechado

Serão utilizadas novamente as Figuras das páginas 67 e 68 ao alto para acompanhar o funcionamento de um sistema de controle. O processo mostrado pela Figura da página 67 é o aquecimento de um determinado fluido através do processo da troca de calor que ele efetua com o vapor de água.

Supondo que o fluido processado entra sob vazão constante no trocador de calor a uma temperatura Te. Deseja-se manter (ou controlar) a temperatura desse fluido após o trocador no valor Tr. Se o valor da temperatura medida Tm pelo elemento primário for diferente do valor desejado Tr, o controlador sentirá a diferença ou desvio $\varepsilon = Tr - Tm$ e mudará a entrada de calor no trocador por meio de um sinal à válvula de controle, de forma tal, que esta assuma uma nova posição, aumentando ou diminuindo a vazão de entrada de vapor no trocador. Após a ação corretiva, voltando a temperatura Tm igualar-se a Tr, o sistema volta ao seu estado de equilíbrio.

O sinal que o controlador envia para a válvula é muito importante do ponto de vista do **modo de controle** do sistema. Como este sinal é função do desvio, pode-se ter diversos tipos de modo de controle.

12.5 Modos de Controle do Controlador

O **modo de controle** (também denominado de ação do controlador) é a maneira que o controlador responde a um desvio da variável controlada. Significa de que forma a válvula de controle vai tentar corrigir o desequilíbrio surgido após uma variação de carga. No exemplo dado na Figura da página 67, para corrigir um aumento de temperatura de Tm de forma a Tm > Tr, a válvula de controle poderia, por exemplo, fechar completamente logo que o valor de Tm passasse acima do valor desejado, ou poderia fechar a válvula lentamente, a uma velocidade constante ou ainda fechar 1% do curso total da válvula para cada grau de desvio, etc.

A seleção do modo de controle é geralmente ditada, pelas características do processo e pela precisão que se deseja. Assim sendo, os quatro modos de controle básicos utilizados são: a) controle de duas posições, ou também denominado de **controle biestável**; b) **controle proporcional**; c) **controle integral** e d) **controle derivativo**. Qualquer controlador pode assumir um desses modos de controle ou alguma combinação deles. Estes quatro modos podem ser separados em dois grupos diferentes e muito importantes: **controle biestável** e **controle modulado** (no qual agrupam-se os três últimos modos de controle definidos acima). Normalmente, os dois últimos modos de controle, ou seja, o integral e o derivativo, utilizam-se em conjunto com o modo proporcional, formando os seguintes modos de controle combinados: proporcional-integral e proporcional-integral-derivativo.

A seguir, será feita uma breve explanação quanto às particularidades de cada um desses modos de controle, assim como algumas combinações entre os modos pertencentes ao controle modulado.

12.5.1 Controle biestável

Neste tipo de controle, o sinal de saída do controlador apenas assume dois valores: 0 ou 100%.

Assim, quando a variável medida estiver acima do ponto de controle (valor desejado), o sinal de saída do controlador é zero; quando a variável medida estiver abaixo do ponto de controle, o sinal de saída apresenta o seu valor máximo. Assim, num sistema de controle em que o modo de controle do controlador seja do tipo "biestável", o obturador da válvula de controle é deslocado rapidamente de uma posição para outra, por exemplo, totalmente fechada para totalmente aberta.

12.5.2 Controle proporcional

Neste modo de controle, o sinal de saída do controlador é diretamente proporcional ao desvio. Ou seja:

$$P = K_c\,\varepsilon + P_s$$

onde

P = sinal de saída do controlador;

K_c = ganho ou sensibilidade (também conhecido como banda proporcional) do controlador, ajustável no próprio controlador;

ε = desvio = valor desejado – variável medida;

P_s = constante.

A característica principal deste tipo de modo de controle é que, sob seu efeito, o sistema de controle é capaz de conter o aumento ou diminuição da variável controlada e finalmente trazê-la para a condição de equilíbrio a um novo valor. A diferença entre estes dois valores da variável controlada na antiga e nova condição de equilíbrio é denominada de "'off-set" ou desvio de regime. Em face à utilização de um controlador tipo proporcional, a válvula de controle assume uma posição para cada valor da variável medida. O controle tipo "biestável" é, na realidade, um caso especial do controle proporcional no qual o ganho K_c é ajustado para um valor alto, fazendo a válvula deslocar-se de uma posição extrema à outra, caso a variável medida venha a desviar ligeiramente do valor desejado.

12.5.3 Controle integral

Neste modo de controle, o sinal de saída é proporcional à integral do desvio, ou seja:

$$P = \frac{K_c}{T_r}\int_0^t \varepsilon\,dt$$

onde T_r = tempo de ação integral (em minutos), ajustável no controlador.

A principal característica do modo de controle tipo integral é que a válvula somente cessará seu deslocamento quando a variável controlada retornar ao valor desejado. Não produz, portanto, o desvio residual de regime, conhecido por "off-set". Como o modo proporcional apresenta, porém, o inconveniente de uma resposta mais oscilatória que o controle proporcional.

12.5.4 Controle proporcional-integral

A utilização do controle integral isolado não é usual, pois a sua ação corretiva não é instantânea, sendo aplicada gradativamente. Costumam-se combinar as vantagens do controle proporcional (correção instantânea) com as do controle integral (ausência do "off-set") obtendo-se assim o modo de controle combinado conhecido por "proporcional-integral".

Em um controlador tipo proporcional-integral, o sinal de saída é matematicamente definido por:

$$P = K_c \ \varepsilon + \frac{K_c}{T_r}\int_o^t \varepsilon dt + P_s$$

12.5.5 Controle derivativo

Neste tipo de controle o sinal de saída é proporcional à velocidade de aumento do desvio verificado, ou seja:

$$P = K_c \ T_d \frac{d\varepsilon}{dt}$$

onde Td = tempo da ação derivativa, minutos.

Este tipo de modo de controle apresenta isoladamente o inconveniente de não agir corretivamente, caso pela variação da carga, a variável controlada esteja estabilizada com valor diferente do valor desejado. Em outras palavras, se o desvio for constante, a ação derivativa não irá produzir nenhuma correção. Tal característica impede o seu uso isoladamente, sendo, normalmente utilizado, em conjunto com o modo proporcional ou ainda com o proporcional-integral. Entretanto, a ação derivativa apresenta uma resposta menos oscilatória que o controle proporcional.

12.5.6 Controle proporcional-derivativo

É matematicamente definido por:

$$P = K_c \ \varepsilon + K_c T_d \frac{d\varepsilon}{dt} + P_s$$

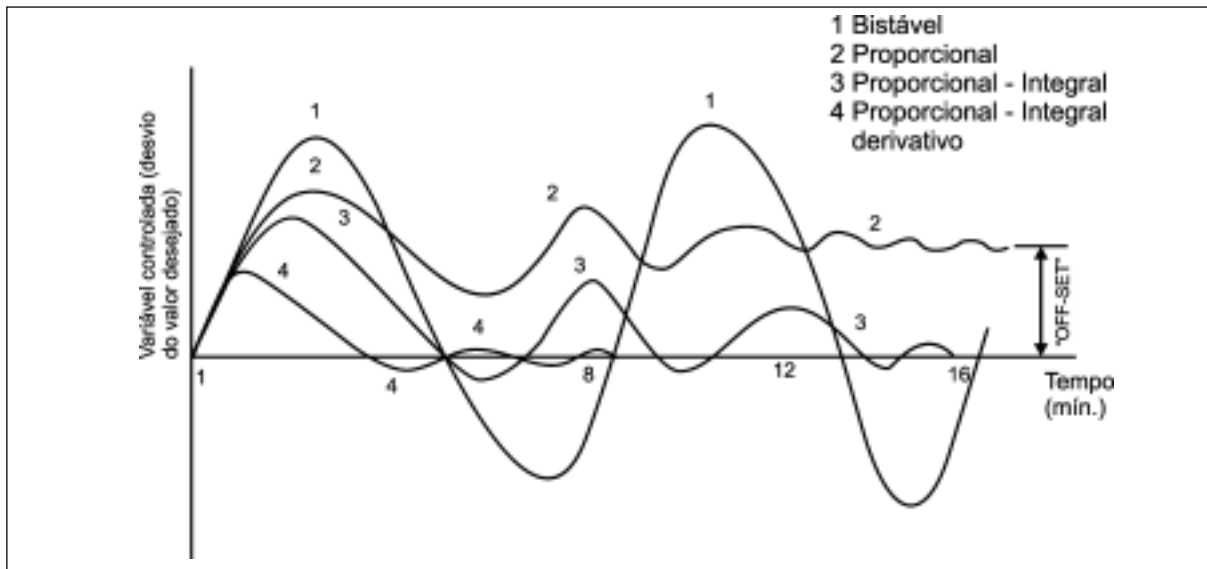
Neste tipo de controlador, se o desvio não estiver variando, a influência da ação derivativa é nula, transformando-se num controlador proporcional.

12.5.7 Controle proporcional-integral-derivativo

Representa uma combinação dos três modos de controle para obtenção de um sistema cujo sinal de saída é definido pela equação:

$$P = K_c \ \varepsilon + K_c T_d \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{K_c}{T_r}\int_o^t \varepsilon dt + P_s$$

Através da ação deste modo de controle, o aumento da variável controlada é mais rapidamente contido fazendo-a voltar também rapidamente ao seu valor original com poucas oscilações.

A Figura abaixo apresenta, esquematicamente, as respostas aos principais tipos (simples ou combinados) de modos de controle.

Respostas dos vários tipos de modos de controle.

12.6 Conclusões

Foi possível, mesmo que de forma breve, comparar o desempenho de cada modo de controle e, embora não seja a intenção, entrar no mérito da escolha do modo de controle de um controlador, pode-se, apenas como explanação conclusiva, dizer que a escolha do modo de controle depende das características do processo, em função de seus retardes dinâmicos (resistência, capacidade e tempos mortos). Entretanto, do ponto de vista da seleção da válvula de controle, deve-se salientar que a primeira escolha que o usuário deve fazer é se o processo poderia ser controlado por um sistema de controle do tipo **biestável** ou precisaria ser do tipo **modulado**.

Esta diferenciação, muito simples de ser realizada é básica para a seleção da característica de vazão da válvula, do tipo de válvula e ainda do tipo de atuador. Entre os vários modos de controle tipo modulado, a seleção estaria baseada no fato do processo admitir ou não como tolerável um desvio residual. No primeiro caso poderia ser utilizado o controle proporcional, já no segundo, deveria ser acrescentado a ação do modo integral e, caso o processo não permitisse grandes oscilações da variável controlada será acrescentado ainda o modo derivativo.

Por último, o usuário não deve esquecer que considerações técnicas feitas quanto à escolha de um determinado controlador, transmissor, etc. são importantes, porém não se pode relegar a um plano secundário a escolha ou dimensionamento da válvula de controle.

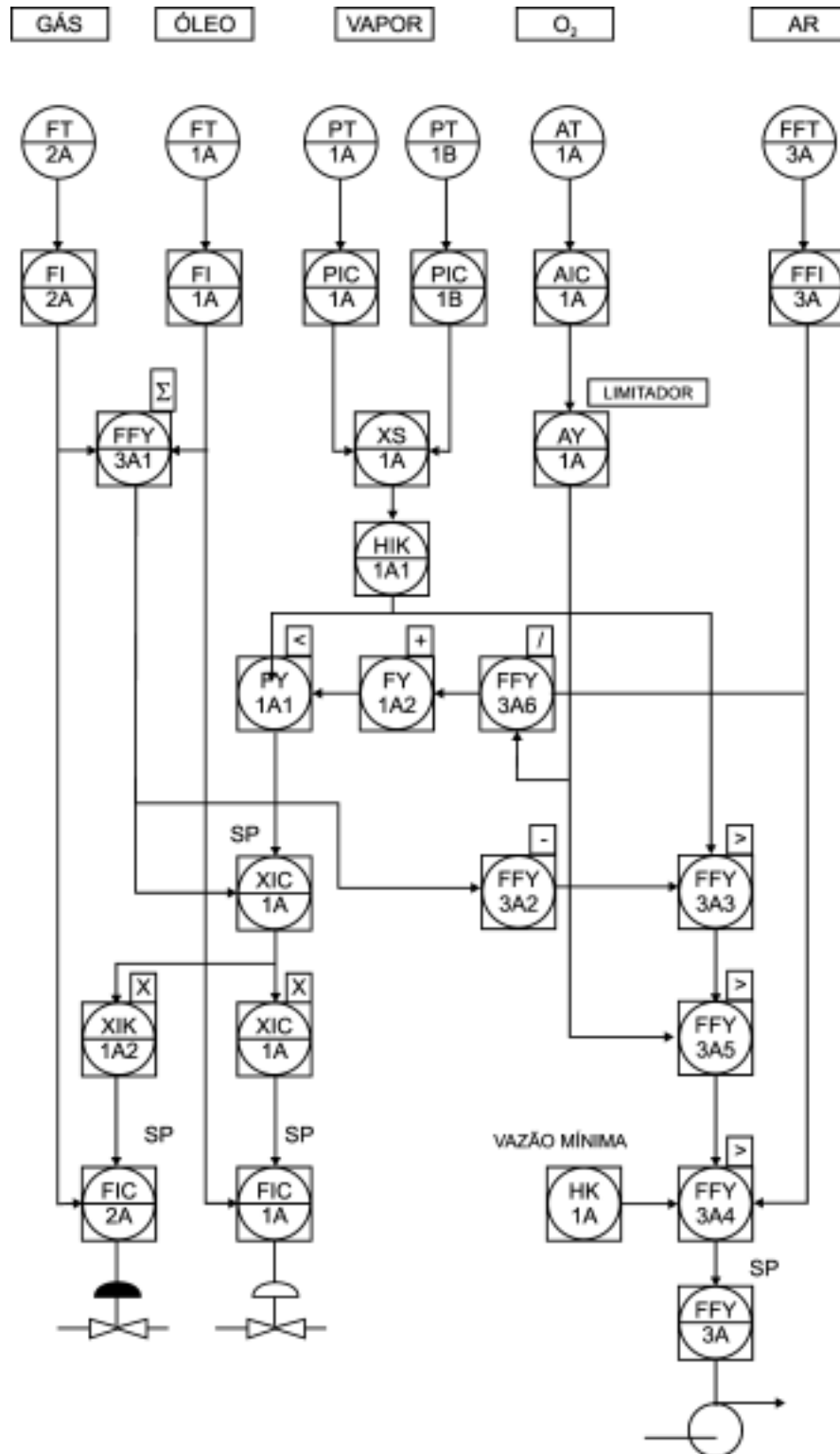



Diagrama em Blocos de uma malha de controle de combustão.

Exercícios

01. Quanto ao sinal de transmissão, quais as vantagens e desvantagens:

– do sinal pneumático sobre o eletrônico analógico?
– do sinal eletrônico sobre o eletrônico analógico?
– do sinal por ondas de rádio sobre o eletrônico analógico?

02. Qual o motivo para que a maior parte dos sinais de transmissão comecem com um valor maior que zero (exemplo: 1~5 Volts, 4~20 mA, 0.2~1.0 kgf/cm^2, 3~15 psi)?

03. Por que existe um limite da quantidade ou resistência máxima, de equipamentos que podem ser considerados em série (as transmissões de sinais por corrente)?

04. Cite a função de cada componente das malhas apresentadas pelo instrutor.

a)

b)

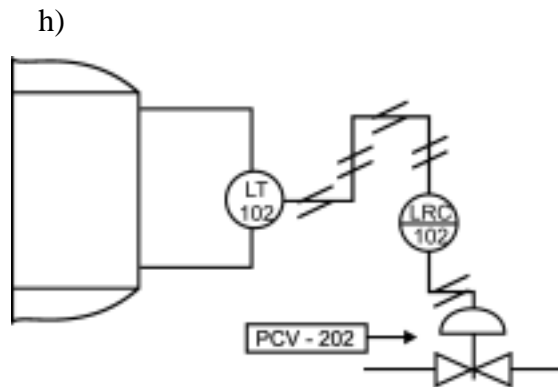
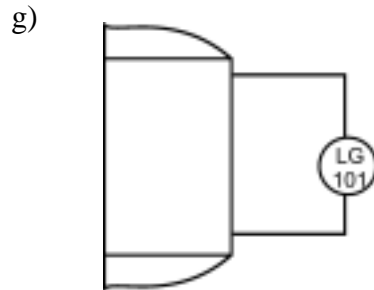
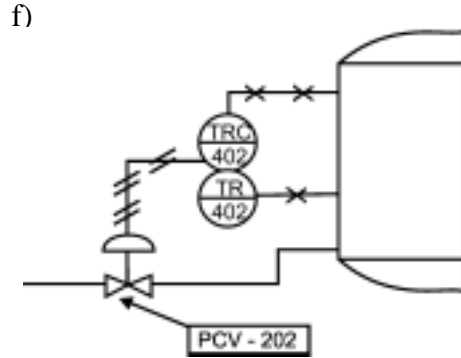
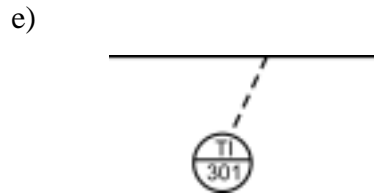
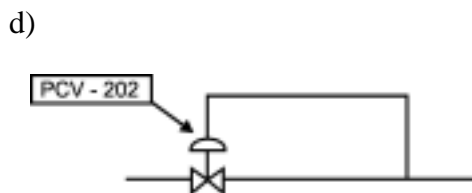
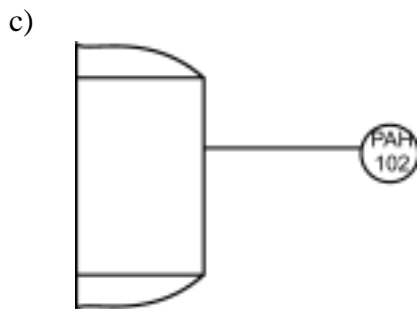
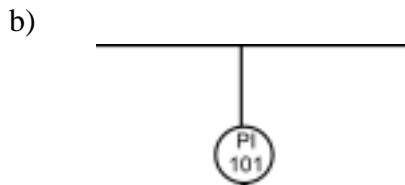
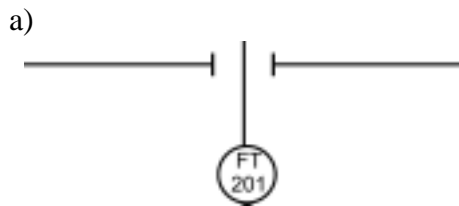
c)

d)

e)

f)

g)

h)

05. Faça um diagrama de interligação dos instrumentos (dispositivos de uma malha de controle para medição e controle de vazão contendo: placa de orifício, transmissor diferencial de pressão, extrator de raiz quadrada, controlador, registrador, integrador e válvula de controle. Utilize a norma ABNT.

06. Cite sensores de pressão que se aplicam para medição em torno de

a) 100 kPa
b) 10 MPa
c) 1kPa

07. Como funcionam os manômetros tipo:
a) Bourdon
b) Diafragma
c) Coluna de líquido (tubo em "U")

08. Cite aplicações para os manômetros diferenciais.

09. Explique o que é pressão estática e pressão dinâmica.

10. Por que se utilizam sifões em algumas instalações de manômetros?

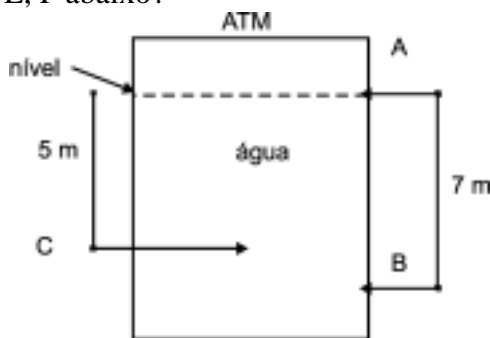
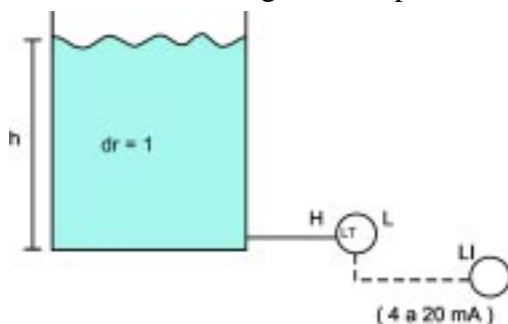
11. Para indicadores de pressão tipo Bourdon, instalados em processos que variam bruscamente a pressão, o que pode ser feito para aumentar a vida útil do medidor?

12. Converta as seguintes leituras para kPa.

a) 100 mmH_2O	d) 2 atm
b) 0,5 kgf/cm^2	c) 3 atm
c) 100 mmHg	e) 10 Pol Hg

13. Qual a pressão (em kPa) no fundo de um reservatório aberto, cilíndrico de diâmetro igual a 20 metros e cujo nível de água pura está em 8 metros?

14. Qual seria a pressão (em kPa) no caso anterior, se o reservatório possuísse secção transversal quadrada?

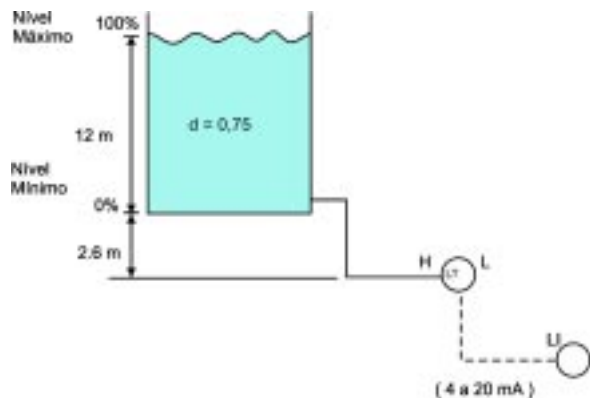
15. Qual seria a pressão nos pontos A, B, C, D, E, F abaixo?

16. Dado o desenho seguinte, responda:

a) Sabendo-se que o líquido é água, o nível mínimo é zero e o máximo é 5 metros, qual o range que o transmissor deverá ser calibrado em polegadas de H_2O?
Range: ____________________

b) Qual o range do transmissor em polegadas de H_2O, supondo que o líquido seja óleo (densidade relativa igual a 0,85), o nível mínimo é zero e o máximo 5,88 metros?
Range: ____________________

c) Qual o sinal de saída do LT(4 a 20 mA), quando o nível for 3,2 m?
líquido: Água
Range de Medição: 0 a 4,5 m.c.a.
Output = ___________________mA

d) Qual o nível no tanque, quando o sinal de saída do LT for 11,2 mA?
Líquido: óleo (densidade relativa: 0,92)
Range de Medição: 1 a 9 m.c.a.
Nível: _____________________

e) Qual o nível no tanque, quando o indicador (LI) indicar 40%?
Líquido: Óleo (densidade relativa: 0,92)
Range do LT: 0 a 200" H_2O
Nível: ________________________

17. Dado o fluxograma a seguir:

a) Qual o range de medição do LT em polegadas de H_2O?
Range: ______________________

b) Qual o nível do tanque, quando o sinal de saída do LT for 9,6 mA?
Nível: _________________________

c) Qual o sinal de saída do LT, quando o nível do tanque for 9,3 m?
Output = ____________________mA

18. Qual o principal objetivo do controle automático?

19. Como funciona a malha de controle fechada?

20. Como é chamada a variável que deve ser mantida dentro dos limites?

21. Como é chamada a variável que sofre a correção?

22. Defina quais são as variáveis que sofrem a correção?

23. O que significa o termo processo?

24. Do que depende a energia de saída de um processo?

25. Defina quando um processo está em equilíbrio.

26. Defina um processo estável.

27. Defina um processo instável.

28. Quais são as três propriedades que causam atraso de tempo no processo?

29. Defina o que é resistência em um processo.

30. Defina o que é capacitância em um processo.

31. Defina o que é capacidade.

32. Qual a vantagem e a desvantagem de um processo com capacitância relativamente grande?

33. Defina o que é tempo morto em processo.

34. Das três propriedades, qual é a mais problemática?

35. Defina o que é um distúrbio de alimentação.

36. Defina o que é um distúrbio de demanda.

37. Diga por que os distúrbios de set-point, são difíceis de controlar?

Anotações

Principios Éticos da Petrobras

A honestidade, a dignidade, o respeito, a lealdade, o decoro, o zelo, a eficácia e a consciência dos princípios éticos são os valores maiores que orientam a relação da Petrobras com seus empregados, clientes, concorrentes, parceiros, fornecedores, acionistas, Governo e demais segmentos da sociedade.

A atuação da Companhia busca atingir níveis crescentes de competitividade e lucratividade, sem descuidar da busca do bem comum, que é traduzido pela valorização de seus empregados enquanto seres humanos, pelo respeito ao meio ambiente, pela observância às normas de segurança e por sua contribuição ao desenvolvimento nacional.

As informações veiculadas interna ou externamente pela Companhia devem ser verdadeiras, visando a uma relação de respeito e transparência com seus empregados e a sociedade.

A Petrobras considera que a vida particular dos empregados é um assunto pessoal, desde que as atividades deles não prejudiquem a imagem ou os interesses da Companhia.

Na Petrobras, as decisões são pautadas no resultado do julgamento, considerando a justiça, legalidade, competência e honestidade.